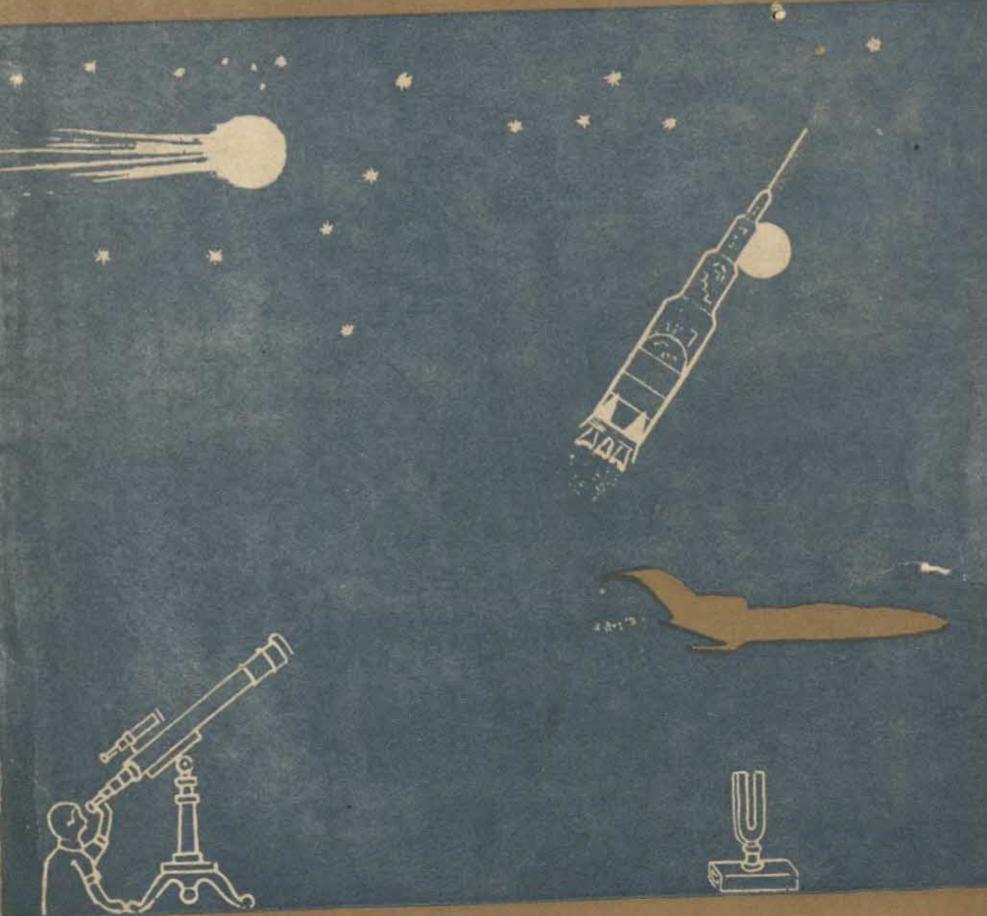
উচ্চ-মাধ্যমিক

পদার্থবিজ্ঞান



অধ্যাপক

কে. জি. মজুমদার

পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ-মাধ্যমিক শিক্ষা-সংসদ কর্তৃক ১৯৭৬ সাল হইতে প্রবর্তিত নূতন পাঠ্যসূচী অনুসরণে একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর ছাত্র-ছাত্রীদের জন্য লিখিত

উচ্চ-মাধ্যমিক পদার্থবিজ্ঞান

[প্রথম খণ্ড]

একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর জন্য [For Classes XI and XII]

অধ্যাপক কে. জি. মজুমদার এম. এস-সি.

বিড়লা কলেজ অব্ সায়েন্স অ্যাণ্ড এডুকেশনের পদার্থবিদ্যার অধ্যাপক। কলিকাতার আশুতোষ কলেজ এবং যোগেশ চৌধুরী কলেজ, কুমিল্লা ভিক্টোরিয়া কলেজ, পাবনা এড্ওয়ার্ড কলেজ ও নড়াইল ভিক্টোরিয়া কলেজের পদার্থবিদ্যার ভূতপূর্ব অধ্যাপক। বি.এস্-সি. পাস্ ও অনার্সের 'Light এবং Practical Physics'; বি. এস্-সি. পাসের 'Heat এবং Sound', Studies in Degree Physics; পূর্বতন উচ্চ-মাধ্যমিক নবম, দশম ও একাদশ শ্রেণীর Studies in Physics; প্রকৃতি বিজ্ঞান (সপ্তম হইতে দশম শ্রেণী পর্যন্ত) প্রভৃতি গ্রন্থ প্রণেতা।

বাণী তীর্থ

পুস্তক প্রকাশক ও বিক্রেতা

২৬-২বি, বেনিয়াটোলা লেন,

কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রকাশক :
শ্রীশিশুকুমার বিশ্বাস
বাণীতীর্থ
২৬-২ বি, বেনিয়াটোলা লেন
কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রথম পত্র—সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান, তাপ-বিজ্ঞান ও শব্দ-বিজ্ঞান

দ্বিতীয় পত্র—আলোক-বিজ্ঞান, চুম্বক-বিজ্ঞান, স্থির-তড়িৎ বিজ্ঞান, প্রবাহী-তড়িৎ বিজ্ঞান ও আধুনিক পদার্থ-বিজ্ঞান

প্রথম সংস্করণ : অক্টোবর ১৯৭৬

মূল্য : এগারো টাকা

মুদ্রাকর :

অনিলকুমার ঘোষ
শ্রীহরি প্রেস
১৩৫এ, মুক্তারামবাবু স্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০০৭

শ্রীবংশীধর সিংহ
বাণী মুদ্রণ
১২, নরেন সেন স্কোয়ার
কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রথম সংস্করণের ভূমিকা

উচ্চ-মাধ্যমিক শিক্ষাসংসদ কর্তৃক পদার্থ-বিজ্ঞানের যে নূতন পাঠ্যসূচী নির্ধারিত হইয়াছে সেই অনুযায়ী এই পুস্তক একাদশ ও দ্বাদশ শ্রেণীর ছাত্র-ছাত্রীদের জন্য লিখিত হইল। এই পাঠ্যসূচী ১৯৭৬ সাল হইতেই প্রবর্তিত হইতেছে।

পুস্তকের বিষয়বস্তুগুলি খুব সরলভাষায় লেখা হইয়াছে যাহাতে বিষয়গুলি বুঝিতে কোন অসুবিধা না হয়। বিষয়গুলি যথাসম্ভব পরিষ্কার ও নির্ভুল চিত্র দ্বারা বোঝান হইয়াছে। চিত্রগুলির আকার ছোট করিয়া নির্ভুল এবং পরিষ্কার করা হইয়াছে। প্রত্যেক অধ্যায়ের শেষে বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) ও বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Questions) দেওয়া হইয়াছে। বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলীর উত্তর কোন্ কোন্ অনুচ্ছেদে পাওয়া যাইবে তাহাও ঐ প্রশ্নের শেষে দেওয়া আছে। অধ্যায়ের শেষে কয়েকটি নমুনা-অঙ্ক কষিয়া দেওয়া আছে এবং অনুশীলনীতে অনেক অঙ্ক কষিতে দেওয়া আছে। এই অঙ্কগুলির উত্তরও দেওয়া আছে। এইগুলির মধ্যে যে অঙ্কগুলি শক্ত বলিয়া মনে হইয়াছে তাহাদিগকে কিভাবে কষিতে হইবে তাহার সংকেত দেওয়া আছে। মোটের উপর পুস্তকখানি ছাত্রছাত্রীদের জন্য সর্বাধিক উপযোগী করা হইয়াছে। আমার খুবই আশা যে এই পুস্তকখানি ছাত্রদের খুবই উপকারে আসিবে।

এই সঙ্গে, আমার প্রকাশক শ্রীশিশুকুমার বিশ্বাস, শ্রীহরি প্রেসের শ্রীঅনিলকুমার ঘোষ, বাণী মুদ্রণের শ্রীবংশীধর সিংহ এবং তরুণ আর্টিস্ট শ্রীচিত্রকুমার প্রভৃতিকে অজস্র ধন্যবাদ জানাইতেছি। ইহাদের সকলের সহযোগিতায় পুস্তকখানি সর্বাঙ্গিন সুন্দর করা সম্ভব হইয়াছে।

কলিকাতা
১লা অক্টোবর, ১৯৭৬

বিনীত
কে. জি. মজুমদার

SYLLABUSES

PHYSICS

(Elective)

Paper—I	...	80 Marks
Paper—II	...	80 Marks
Practical	...	40 Marks
		Total 200 Marks

1. MECHANICS

Particle Dynamics :

Rest and motion, reference frame, displacement, velocity and acceleration, momentum, binematical equations (in one dimension), elementary problems.

Scalars and Vectors. Composition and resolution of vectors. Representation of vector by co-ordinates. Addition of vectors by geometrical and analytical methods. Relative velocity and acceleration.

Newton's laws of motion, inertia, units of force, impulse and impulsive forces, conservation of linear momentum—elastic collisions of particles moving in the same line, jets and rockets. Friction, static and kinetic friction, co-efficient of friction.

Statics :

Centre of mass, centre of gravity. Conditions of equilibrium of a system of particles.

Dynamics of Rotational motion :

Rotational motion of a particle, angular velocity, angular acceleration, relation between angular velocity and linear velocity, angular momentum, moment of a force about a point and about an axis, torque, relation between angular momentum and torque (statement only), couples, centripetal force, centrifugal force (as a pseudo-force).

Work, Energy and Power :

Definition of work, relevant units, work done by and against a force. Mechanical energy—kinetic and potential forms. Conservation of energy—with the case of a freely falling body as an example. Power—definition, units.

2. GENERAL PROPERTIES OF MATTER

Gravitation :

Newton's law of universal gravitation. Constant of Gravitation (no experimental details on the determination of the Gravitational Constant). Gravitational attraction for extended bodies. Gravitational attraction of the earth. Laws of falling bodies. Variation of acceleration due to gravity. Simple pendulum. Motion of planets, satellites. Escape velocity (no deduction). Weightlessness in orbiting satellites.

Elastic properties of matter :

Stress, strain, elastic limit, Hooke's law, elastic modulii Young's modulus, Bulk modulus, rigidity modulus, Poisson's ratio.

Hydrostatics :

Density, Specific Gravity, (methods of determination of Sp. Gr. not required), Archimedes' principle (demonstrations), flotation, pressure in fluids, transmission of fluid pressure Pascal's law and its applications. Air pressure and its measurement. Siphon, principles of lift pump, compression pump, vacuum pump.

Surface Tension and Viscosity :

Simple surface tension phenomena (illustrated with demonstrations). Motion in fluids—viscosity—streamline and turbulent flow (qualitative ideas).

3. HEAT

Recapitulation of the basic concepts of heat and temperature.

Thermal expansions of solids and liquids. Simple demonstrations. Co-efficient of expansion for solids, relation between them. Applications of expansions of solids.

Real and apparent expansions for liquids, relation between expansion co-efficients. Anomalous expansion of water. Effect on marine life.

Thermal expansion of gases.

Boyle's law, Charle's law, Equation of state of an ideal gas ; volume and pressure co-efficient. Absolute of scale temperature.

Calorimetry :

Preliminary definitions, principle of calorimetry (no question on measurement to be set). Calorimetric problems.

Change of State :

Latent heat (brief discussions of determination), evaporation and boiling. Effects of pressure on melting point and boiling point.

Vapour pressure. Relative humidity. Dew, fog and cloud Hygrometry, Regnault's hygrometer.

Mechanical equivalent of heat :

Heat as a form of energy. Relation between the Calorie and the erg. Determination of mechanical equivalent of heat (paddle method). First law of thermodynamics. Isothermal and adiabatic expansions of gases. Specific heats of gases definitions of Cp., Cv.

Kinetic Theory of Gases :

Evidence of molecular structure of matter and of random molecular motion. Brownian movement (qualitative description). Basic assumptions of the kinetic theory of ideal gases. Pressure of an ideal gas (mention of the formula ; derivation not required). Concept of temperature from kinetic theory. Qualitative discussions of limitations of ideal gas laws.

Transmission of Heat :

Conduction of heat, simple demonstrations ; thermal conductivity. Practical applications of thermal conduction. Convection of heat, convection current. Radiation ; radiation as a form of energy ; Stefan's law—statement and applications.

4. OPTICS

Recapitulation of basic topics on rectilinear propagation of light.

Photometry—basic concepts. Lummer—Brodhun photometer.

Reflection at plane surfaces—laws of reflection, periscope. Reflection at curved surfaces—basic definitions and mathematical relations between u, v, f and r.

Refraction of light, laws of refraction, total reflection, critical angle, formation of a mirage. Refraction through a prism, minimum deviation, relation between Delta and Mu.

Image formation by thin convex and concave lenses ; basic definitions, deduction of formula connecting u, v, f. Spherical and chromatic aberrations (qualitative discussions).

Dispersion of light. Formation of a spectrum, different types

of spectra (line and continuous), emission and absorption spectra —discussions on a very elementary level. Spectrometer (principle of working).

Atmospheric refraction and rainbow.

Optical Instruments : Camera, Compound microscope, Astronomical telescope, Binoculars.

The Human eye—defects of vision—remedy as example of combination of lenses.

5. VIBRATIONS AND WAVES

Vibrations :

Oscillations and its characteristics. Simple harmonic motion, examples. Relation with uniform circular motion. Graphical and mathematical representations. Energy in simple harmonic motion. Superposition of two simple harmonic motions in the same direction (graphical) (i) in phase, (ii) in opposite phases.

Nature of vibrations—(transverse and longitudinal). Free and forced viabrations, resonance, damped oscillations (qualitative discussions with examples).

Waves :

Types of waves, characteristic features of propagating waves, preliminary definitions, and relations. Reflection and refraction of waves.

Superposition of waves : stationary waves ; vibrations of strings and air columns.

Interference, beats, Doppler effect, polarization (qualitative discussions).

Nature of Waves :

(i) Sound waves as elastic waves. Velocity of sound Laplace's formula (Newton's formula $V = \sqrt{E/\rho}$ to be as sumed).
Sources of sound. Musical sound and noise. Principles of recording and reproduction of sound.

(ii) Light as a wave phenomenon. Finite velocity of light. Interference of light, Polarization (qualitative ideas). Validity of geometrical optics as an approximation.

6. MAGNETISM

Recapitulation of basic concepts with demonstrations.

Magnetic field, magnetic lines of force, Coulomb's law, unit pole, magnetic intensity.

Molecular theory of magnetism. Ferro, para and diamagnetic substances. Permeability, Susceptibility.

Terrestrial magnetism—Declination, Dip and Horizontal intensity (methods of measurement not required).

7. ELECTROSTATICS

Basic electrostatic phenomena, Electroscopes—simple experiments. Conductors and insulators. Electrostatic induction. Distribution of charge on conductors. Surface charge density.

Coulomb's law of electrostatics. Electric field. Potential and its measure ; qualitative ideas of relation between intensity and potential. Capacitance, capacitance of a sphere. Simple capacitors. Factors determining capacitance. Capacitors in series and in parallel.

Electrostatic machines—electrophorus and Van de Graaffff generator.

8. CURRENT ELECTRICITY

Voltaic Cells, Primary and Secondary Cells. Ohm's Law. Resistivity. Temperature co-efficient of resistance. Resistances in series and parallel. Wheatstone Bridge (measurement of resistances of resistors with this bridge). Post Office Box. Meter Bridge. Potentiometer—measurement of Potential Difference and current.

Heating effect of current—Joule's law. Determination of 'J' by electrical method. Thermoelectricity. Seebeck, Peltier and Thomson's effects (general outline). Energy and Power in electrical circuits.

Chemical effect of currnet—Electrolysis—Faraday's laws. Practical applications.

Electromagnetism :

Magnetic effect of current—action of magnet on current, current on magnet and current on current. Demonstrations. Simple Galvanometers (Tangent, d'Arsonval). Shunt, Voltmeters, Ammeters and their uses.

Electromagnetic induction ; Laws of Faraday and Lenz. Self and mutual inductance. Induction Coil.

Ideas about alternating currents (qualitative discussions). Principles of motors and dynamos. Principles of telegraphy, telephony and microphone.

9. MODERN PHYSICS

Conduction of electricity through gases—phenomenological study. Cathode rays and their properties. X-rays ; discovery and properties. Nature of X-rays. Practical applications.

Thermionic emission—descriptive.

Vacuum tubes, diodes—principle of rectification, uses of triodes—principle of amplification. Cathode ray tube. Elementary principles of radio, televison and radar.

Photo electric phenomena. Photo tube and its uses. Particle nature of radiation. Elementary ideas of Quantum Theory. (No details on the determination of Planck's constant).

Electronic structure of the atom—brief introduction to the Bhor model of the atom. Fluorescence and phosphorescence semi-conductor diodes and triodes, transistors and their uses (descriptive).

Measurement of atomic masses—brief discussion of the principle of the Mass Spectrograph (single focussing).

The nucleus of the atom and its structure. Atomic number and mass number, isotopes.

Radioactivity—its discovery. Alpha, Beta and Gamma Rays and their properties. Radioactive decay (no mathematics—graphical illustrations only). Radio Isotopes. Artificial transmutation of elements—with illustrations. Mention of mass energy equivalence. Nuclear fission and its uses. Nuclear fusion—its importance. Cosmic rays and mesons.

সূচীপত্র

[বন্ধনীর মধ্যে সংখ্যা পৃষ্ঠা নির্দেশ করে]

সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান (General Physics)

শব্দ-বিজ্ঞান (Sound)

শব্দ-বিজ্ঞান (Sound)

সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান
[GENERAL PHYSICS]

অধ্যায় 1

অবতরণিকা (Introduction)

পদার্থ ও শক্তি (Matter and Energy)

1-1. বিজ্ঞান কি ? আমরা আমাদের চক্ষু, কর্ণ, নাসিকা, জিহ্বা ও ত্বক এই পাঁচটি ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে জগতের নানাবিধ দ্রব্যের অস্তিত্ব অনুভব করি এবং প্রকৃতিতে যে সব পরিবর্তন সদাসর্বদা ঘটিতেছে তাহাও লক্ষ্য করিয়া থাকি। ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে যে জ্ঞান আমরা লাভ করিয়া থাকি তাহা কিন্তু অসম্পূর্ণ। এইরূপ অসম্পূর্ণ জ্ঞান লাভ করিয়া বৈজ্ঞানিক মন সন্তুষ্ট থাকিতে পারে না। জ্ঞানের পরিধি আরও বিস্তৃত করিবার জন্য বিশ্বের বিভিন্ন অংশের মনীষীরা বিরামহীন অনুসন্ধান কার্য বা গবেষণা করিয়া চলিয়াছেন যাহাতে প্রকৃতির গুপ্ত রহস্য আরও উদ্‌ঘাটন করা সম্ভব হয়।

অতএব, **প্রাকৃতিক ঘটনাগুলির সঠিক পর্যবেক্ষণ ও পরিমাপ দ্বারা কোনও নির্দিষ্ট সিদ্ধান্তে পৌঁছাইবার পর যে সুসংবদ্ধ, সম্পূর্ণ ও নিয়ম-শৃঙ্খলাযুক্ত জ্ঞান লাভ করা যায় তাহাই বিজ্ঞান।**

1-2. বস্তু ও পদার্থ (Body and Matter) ঃ আমরা ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে যে সব দ্রব্যের অস্তিত্ব অনুভব করিয়া থাকি তাহাদিগকে **বস্তু** (body) বলি। যে সব বস্তুতে জীবনের লক্ষণ প্রকাশ পায় না তাহাদিগকে **জড়** বা **অচেতন বস্তু** বলে। আবার যে বস্তুতে জীবনের লক্ষণ প্রকাশ পায় তাহাদিগকে **চেতন বস্তু** বলে। প্রত্যেক বস্তু একটি নির্দিষ্ট স্থান অধিকার করে এবং উহার ভর (mass) ও ভার (বা ওজন—weight) আছে। জড় বস্তুর উপর কোনরূপ বল প্রযুক্ত না থাকিলে উহা হয় নিশ্চল থাকিবে না হয় সমবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলিবে। জড় বস্তুর এই ধর্মকে **জাড্য-ধর্ম** (inertia) বলে। অতএব, বস্তুর সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

যাহার ভর ও ভার আছে, যাহা স্থান অধিকার করিতে পারে, যাহা ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য এবং যাহার জাড্যধর্ম আছে তাহাকে বস্তু বলে এবং এই বস্তু যে উপাদানে গঠিত তাহাকে পদার্থ বলে।

যেমন, লোহার চেয়ার—টেবিল—আলমারি প্রভৃতি বিভিন্ন বস্তু কিন্তু উহাদের প্রত্যেকেরই উপাদান লোহা, যাহাকে ঐ বস্তুগুলির পদার্থ বলে।

1-3. পদার্থের তিন অবস্থা (Three States of Matter) ঃ প্রত্যেক পদার্থ কতকগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার সমবায়ে গঠিত যাহাদিগকে পদার্থের অণু বলে [পদার্থের যে ক্ষুদ্রতম কণা স্বাধীনভাবে থাকিয়া পদার্থের মূল ধর্মগুলি প্রকাশ করিতে পারে তাহাকে ঐ পদার্থের অণু বলে]। পদার্থের এই অণুগুলির অবস্থান-পদ্ধতির পার্থক্যের জন্যই উহা তিনটি বিভিন্ন অবস্থা ধারণ করিতে পারে, যথা, **কঠিন, তরল ও গ্যাসীয়** অবস্থা। কোন পদার্থ তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় থাকিলেও উহাদের রাসায়নিক ধর্মের কিন্তু কোন পরিবর্তন হয় না। যেমন, তরল জলের কঠিন অবস্থার নাম বরফ এবং গ্যাসীয় অবস্থার নাম বাষ্প হইলেও উহাদের রাসায়নিক ধর্ম কিন্তু একই থাকে। কি কি কারণে কোন পদার্থ, তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় যায় তাহা নিম্নে বিবৃত হইল।

(i) **কঠিন অবস্থা ঃ** কঠিন পদার্থের অণুগুলি ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে এবং উহাদের পরস্পরের মধ্যের ফাঁক (যাহাকে আন্তরাণবিক অবকাশ বলে) খুব কম। এই কারণে অণুগুলির মধ্যে আকর্ষণ-বল এত বেশী যে অণুগুলি ঐ বল ছিন্ন করিয়া স্থানান্তরে যাইতে পারে না। ইহার ফলে কঠিনের আয়তন ও আকৃতি নির্দিষ্ট থাকে এবং দৃঢ় হয়।

(ii) **তরল অবস্থা ঃ** কঠিনের উপর তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইবে এবং উহার অণুগুলির গতিও বাড়িয়া যাইবে। যখন কঠিনের উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট মানে আসে (যাহাকে কঠিনের গলনাঙ্ক বলে) তখন উহার অণুগুলির গতি এত বেশী হয় যে উহারা পরস্পরের আকর্ষণ-বলকে অতিক্রম করিয়া ইতস্ততঃ ঘুরিয়া বেড়ায়। পদার্থের এই অবস্থাকেই উহার **তরল অবস্থা** বলে। এই অবস্থায় পদার্থের অণুগুলির পরস্পরের মধ্যের ফাঁক উহার কঠিন অবস্থা অপেক্ষা বেশী হয়। তরলের অণুগুলি এক স্থান হইতে অন্য স্থানে চলাফেরা করিতে পারে বলিয়াই উহার কোন নির্দিষ্ট আকার থাকে না। উহাকে যে পাত্রে রাখা হয় সেই পাত্রের আকার ধারণ করে কিন্তু উহার আয়তন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় স্থির থাকে। তরলের উপরিতল সর্বদা অনুভূমিক থাকে। কঠিন অপেক্ষা তরলের মধ্যে তাপের পরিমাণ বেশী থাকে।

(iii) **গ্যাসীয় অবস্থা ঃ** তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে উহার অণুগুলির গতি আরও বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হইবে। যখন তরল একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসে (যে উষ্ণতাকে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে) তখন উহার কোন কোন অণুর গতি এত বেশী হয় যে, উহারা পরস্পরের আকর্ষণ-বলকে অতিক্রম করিয়া তরলের বাহিরে আসে এবং তীব্রবেগে ছোটাছুটি করিতে থাকে। অণুগুলি তরলের বাহিরে আসিয়া যে অবস্থা ধারণ করে তাহাকে **গ্যাসীয় অবস্থা** বলে। এই অবস্থায় অণুগুলির পরস্পরের

মধ্যে ফাঁক খুব বেশী হয় এবং উহাদের মধ্যে আকর্ষণ-বলও খুব কম হয়। এখন অণুগুলির গতি খুব বেশী থাকায় উহারা পাত্রের সব জায়গায় যাইতে পারে, এজন্য গ্যাসীয় পদার্থের কোন বিশিষ্ট আকার বা আয়তন থাকে না। উহাকে যে পাত্রে রাখা হয় সেই পাত্রের আকার ও আয়তন ধারণ করে। পদার্থ গ্যাসীয় অবস্থায় থাকিলে উহার মধ্যে তাপের পরিমাণ সর্বাপেক্ষা বেশী অর্থাৎ কঠিন এবং তরলের মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ অপেক্ষাও বেশী।

1-4. পদার্থের শ্রেণীবিভাগ (Classification of Matter) ঃ

যাবতীয় বিশুদ্ধ পদার্থকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়, যথা—(a) মৌলিক পদার্থ বা মৌল এবং (b) যৌগিক পদার্থ বা যৌগ।

(a) **মৌলিক পদার্থ** ঃ যে পদার্থকে কোন রাসায়নিক প্রক্রিয়া দ্বারা দুই বা ততোধিক ভিন্ন ধর্ম-বিশিষ্ট পদার্থে বিশ্লিষ্ট করা যায় না তাহাকে **মৌলিক পদার্থ** বলে। মৌলিক পদার্থের ক্ষুদ্রতম অবিভাজ্য কণা, যাহা অন্য কোনও পদার্থের সহিত রাসায়নিক ক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে এবং যাহার স্বাধীন সত্তা থাকিতেও পারে কিংবা নাও থাকিতে পারে, তাহাকে ঐ মৌলের **পরমাণু** বলে। এ যাবৎ সর্বশুদ্ধ 105টি মৌলের অস্তিত্ব জানা গিয়াছে।

উদাহরণ.—সালফার (গন্ধক), সোনা, লোহা, তামা, প্রভৃতি পদার্থকে মৌল বা মৌলিক পদার্থ বলে, কারণ ইহাদিগকে বিশ্লেষণ করিলে কোন নূতন ধর্ম-বিশিষ্ট পদার্থ পাওয়া যায় না। এই সব পদার্থের ক্রমিক বিভাজনের ফলে যে ক্ষুদ্রতম কণা পাওয়া যাইবে এবং যাহাদের ধর্ম ও মৌলগুলির মূল ধর্ম অভিন্ন, তাহাদিগকে ঐ মৌলগুলির অণু বলে। উপরোক্ত মৌলগুলির অণুতে একটি করিয়া পরমাণু থাকে। কাজেই উপরোক্ত মৌলগুলির পরমাণুর স্বাধীন সত্তা আছে। আবার হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি মৌলের অণুতে দুইটি করিয়া পরমাণু থাকে। ইহাদের পরমাণুর কোন স্বাধীন সত্তা নাই।

(b) **যৌগিক পদার্থ** ঃ যে পদার্থের রাসায়নিক বিশ্লেষণের ফলে দুই বা ততোধিক পৃথক ধর্ম-বিশিষ্ট মৌলিক পদার্থ উৎপন্ন হয় তাহাকে **যৌগিক পদার্থ** বলে। পদার্থের (মৌলিক কিংবা যৌগিক) যে ক্ষুদ্রতম কণা স্বাধীনভাবে থাকিয়া পদার্থের মূল ধর্মগুলি প্রকাশ করিতে পারে তাহাকে ঐ পদার্থের **অণু** বলে। অণু সর্বদাই পরমাণুর সমবায়ে গঠিত। মৌলের অণু একই প্রকার পরমাণু দ্বারা গঠিত।

উদাহরণ.—জল একটি যৌগিক পদার্থ, কারণ উহাকে বিশ্লেষণ করিলে হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাস পাওয়া যায় যাহাদের আয়তনিক অনুপাত যথাক্রমে 2 : 1। এই দুই গ্যাসের ধর্ম জলের ধর্ম হইতে সম্পূর্ণ পৃথক। হাইড্রোজেন

নিজে দাহ্য কিন্তু দহনের সহায়ক নয়, আবার অক্সিজেন নিজে দাহ্য নয় কিন্তু দহনের সহায়ক। জল নিজে দাহ্যও নয় কিংবা দহনের সহায়কও নয়।

1-5. পদার্থের কতকগুলি সাধারণ ধর্ম (General Properties of Matter) ঃ পদার্থ যে অবস্থাতেই থাকুক উহার কতকগুলি সাধারণ ধর্ম আছে। এই সাধারণ ধর্মগুলির বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

(a) **জড়তা বা জাড্য** (Inertia) ঃ বস্তুর উপর কোনরূপ বল প্রযুক্ত না থাকিলে জড় বস্তু এই ধর্মের প্রভাবে হয় নিশ্চল অবস্থায় থাকে কিংবা সমবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলে। কাজেই বস্তুর হয় **স্থিতি-জড়তা** কিংবা **গতি-জড়তা** থাকিবে।

(b) **মহাকর্ষ** (Gravitation) ঃ বিশ্বের ছোট বড় সব বস্তু, যে কোন দূরত্বেই থাকুক না কেন, পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করে। এই আকর্ষণ-বলকে **মহাকর্ষ** বলে। এই মহাকর্ষের জন্যই গ্রহগুলি সূর্যের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরিতেছে এবং উপগ্রহগুলিও গ্রহের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরিতেছে। যদি দুইটি বস্তুর একটি হয় পৃথিবী এবং অপরটি পৃথিবীর উপরিস্থিত কিংবা উহার নিকটস্থ কোন বস্তু হয়, তাহা হইলে তাহাদের মধ্যের আকর্ষণ-বলকে **অভিকর্ষ** (gravity) বলে. [7-5 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

(c) **বিস্তৃতি** (Extension) ঃ প্রত্যেক বস্তুই কমবেশী জায়গা দখল করিয়া থাকে, ইহাকে বস্তুর **বিস্তৃতি** বলে। বস্তুর অধিকৃত স্থানকে উহার আয়তন বলে যাহা বস্তুর অবস্থার পরিবর্তন, উষ্ণতার পরিবর্তন প্রভৃতি ভৌত কারণে পরিবর্তিত হইতে পারে।

(d) **সচ্ছিদ্রতা** (Porosity) ঃ প্রত্যেক বস্তুর মধ্যে সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম ছিদ্র থাকে এবং পদার্থের এইরূপ ছিদ্র থাকাকে উহার **সচ্ছিদ্রতা** ধর্ম বলে। কোন কোন বস্তুতে এই ছিদ্রগুলি খুব বড় থাকে, যেমন ব্লটিং কাগজ, চক, কাঠ কয়লা প্রভৃতি। যখন চিনি জলে দ্রবীভূত হয় তখন উহা জলের আন্তরাণবিক ছিদ্রের (যাহা অতি সূক্ষ্ম ছিদ্র) মধ্যে প্রবেশ করে যাহার ফলে দ্রবণের আয়তনের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় না।

(e) **বিভাজ্যতা** (Divisibility) ঃ প্রত্যেক পদার্থের ধর্ম ঠিক রাখিয়া যদি উহাকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণায় ভাগ করা যায়, তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে পদার্থের **বিভাজ্যতা** ধর্ম আছে।

(f) **অভেদ্যতা** (Impenetrability) ঃ যে ধর্মের প্রভাবে দুইটি বস্তু একই সময়ে একইস্থান দখল করিতে পারে না তাহাকে পদার্থের **অভেদ্যতা** বলে।

(g) **স্থিতিস্থাপকতা** (Elasticity) ঃ কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহার আয়তনের কিংবা আকারের কিংবা উভয়েরই পরিবর্তন করা যায়।

যদি এই প্রযুক্ত বল একটি উচ্চসীমার মধ্যে থাকে তাহা হইলে ঐ প্রযুক্ত বল সরাইয়া লইলে বস্তুটি তাহার পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। বস্তুর এই ধর্মকে **স্থিতিস্থাপকতা** বলে [8-1 (*a*) পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

(h) **ঘনত্ব** (Density) ঃ কোন পদার্থের একক আয়তনের মধ্যে যে পরিমাণ ভর থাকে তাহাকে ঐ পদার্থের **ঘনত্ব** বলে। ঘনত্ব পদার্থের একটি সাধারণ ধর্ম।

(i) **সংসক্তি** (Cohesion) ও **আসঞ্জন** (Adhesion) ঃ একই পদার্থের অণুগুলির মধ্যের আকর্ষণ বলকে **সংসক্তি** বলে, কিন্তু দুই বা ততোধিক বিভিন্ন পদার্থের অণুগুলির মধ্যের আকর্ষণ বলকে **আসঞ্জন** বলে। এই সংসক্তি ও আসঞ্জন থাকার জন্য, কোন তরলে আংশিক নিমজ্জিত কৈশিক নলে তরল হয় উপরে উঠে কিংবা নীচে নামিয়া যায়।

উপরে বর্ণিত সাধারণ ধর্মগুলি যে কোনও পদার্থে বিদ্যমান থাকে। কিন্তু কোনও একটি নির্দিষ্ট পদার্থে সাধারণ ধর্ম ছাড়া আরও দুইটি ধর্ম বিদ্যমান থাকে, যাহাদিগকে (1) ভৌত ধর্ম এবং (2) রাসায়নিক ধর্ম বলে।

(1) **পদার্থের যে ধর্মের সাহায্যে উহার বাহ্যিক অবস্থা এবং ব্যবহার জানা যায় তাহাকে ঐ পদার্থের ভৌত ধর্ম বলে।** পদার্থের কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় অবস্থা উহার ভৌত ধর্মের অন্তর্গত। আবার পদার্থের দ্রাব্যতা, চৌম্বক ধর্ম, বৈদ্যুতিক ধর্ম, ঘনত্ব, গলনাঙ্ক, স্ফুটনাঙ্ক প্রভৃতিও উহার ভৌত ধর্মের অন্তর্গত।

(2) **পদার্থের যে ধর্মের সাহায্যে পদার্থের অভ্যন্তরীণ গঠন এবং রাসায়নিক গুণাগুণের পরিচয় পাওয়া যায় তাহাকে ঐ পদার্থের রাসায়নিক ধর্ম বলে।** রাসায়নিক ধর্মের জন্য পদার্থের আভ্যন্তরিক বা মৌলিক পরিবর্তন ঘটে, কিন্তু ভৌত ধর্মের জন্য উহার কোন আভ্যন্তরিক বা মৌলিক পরিবর্তন ঘটে না।

1-6. শক্তি (Energy) ঃ শক্তির অস্তিত্ব যদিও আমরা ইন্দ্রিয়ের দ্বারা অনুভব করিতে পারি কিন্তু বস্তুর মত ইহার কোন ওজন নাই কিংবা ইহা কোন স্থানও দখল করিতে পারে না। কোন পদার্থের সাহায্য লইয়া শক্তি আত্মপ্রকাশ করে। অতএব, **যাহা পদার্থের সহিত যুক্ত থাকিয়া উহাকে কাজ করিবার সামর্থ্য দেয় তাহাকেই শক্তি বলে এবং পদার্থ যে পরিমাণ কার্য করিল তাহাই উহার উপর প্রযুক্ত শক্তির পরিমাপ হইবে।**

তাপ একটি শক্তি যাহার অস্তিত্ব আমরা গাত্রত্বক দ্বারা অনুভব করিতে পারি কিন্তু ইহার দ্বারা কোন কাজ পাইতে হইলে ইহাকে কোন বস্তুর উপর প্রয়োগ করিতেই হইবে। স্টীম এঞ্জিনে তাপ প্রয়োগ করিয়া যখন উহাকে চালানো হয় তখন

ঐ এঞ্জিন দ্বারা কাজ পাওয়া যায়। আবার বৈদ্যুতিক শক্তির অস্তিত্ব আমরা আমাদের পেশী দ্বারা অনুভব করিতে পারি এবং উহাকে কোন মোটরের মধ্যে প্রবাহিত করাইয়া ঐ মোটর হইতে কাজ পাইতে পারি।

শক্তির বিভিন্ন রূপ ঃ পূর্বেই বলা হইয়াছে যে শক্তি কোন বস্তুর সাহায্য ছাড়া আত্মপ্রকাশ করিতে পারে না। কোন বস্তুর উপর যখন শক্তি প্রয়োগ করা হয় তখন ঐ শক্তি বিভিন্নরূপে আত্মপ্রকাশ করিতে পারে। শক্তি যে সব রূপে প্রকাশিত হইতে পারে তাহারা হইল ঃ (1) যান্ত্রিক শক্তি (mechanical energy), (2) তাপশক্তি (heat energy), (3) আলোক শক্তি (light energy), (4) শব্দ শক্তি (sound energy), (5) চৌম্বক শক্তি (magnetic energy), (6) বৈদ্যুতিক শক্তি (electrical energy) এবং (7) রাসায়নিক শক্তি (chemical energy)।

শক্তির রূপান্তর ঃ এই বিশ্বে শক্তির রূপান্তর সদাসর্বদা ঘটিতেছে। প্রকৃত পক্ষে, প্রত্যেক প্রাকৃতিক পরিবর্তন শক্তির রূপান্তরের জন্য ঘটিয়া থাকে। দৈনন্দিন জীবনেও শক্তির রূপান্তর আমরা অনবরতই দেখিয়া থাকি। যেমন, স্টীম এঞ্জিনে তাপশক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া থাকে। বৈদ্যুতিক মোটরে বৈদ্যুতিক শক্তি যান্ত্রিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়, কিন্তু ডায়নামোতে ইহার ঠিক বিপরীত পরিবর্তন দেখিয়া থাকি, অর্থাৎ যান্ত্রিক শক্তি বৈদ্যুতিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। বিজলী বাতিতে বৈদ্যুতিক শক্তি তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। কয়লা, কেরোসিন, পেট্রোল প্রভৃতির দহনে যে তাপ ও আলোকশক্তি পাই তাহা ঐসব বস্তুতে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তির বিনিময়ে পাইয়া থাকি। এইভাবে প্রকৃতিতে শক্তির নানাপ্রকার রূপান্তর অহরহ ঘটিতেছে।

শক্তির সংরক্ষণ সূত্র ঃ এই সূত্র বিবৃত করে যে, **শক্তি অবিনশ্বর এবং বিশ্বের মোট শক্তির হ্রাস-বৃদ্ধি হয় না যদিও ইহার রূপান্তর ঘটিতে পারে।**

উদাহরণ।—যখন কোন লোক একটি বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠ হইতে উচ্চস্থানে লইয়া যায়, তখন তাহাকে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বলের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হয় এবং এই কাজ বস্তুর মধ্যে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। বস্তুটি যখন পুনরায় উচ্চস্থান হইতে ভূ-পৃষ্ঠে ফিরিয়া আসে তখন উহাতে যে বেগের সৃষ্টি হয় তাহার জন্য বস্তুটি গতিশক্তির অধিকারী হয়। প্রমাণ করা যায় যে উচ্চস্থানে বস্তুটির যে স্থিতিশক্তি ছিল তাহা উহার ভূ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করিবার পূর্ব-মুহূর্তের গতিশক্তির সমান। অর্থাৎ বস্তুর স্থিতিশক্তি, গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইলেও উহার উচ্চস্থানের স্থিতিশক্তি = ভূ-পৃষ্ঠ স্পর্শ করিবার পূর্ব-মুহূর্তের গতিশক্তি। এই ঘটনা হইতে শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের প্রমাণ পাওয়া যায়।

1-7. পারমাণবিক শক্তি (Atomic energy) : যে সব ঘটনা আমরা লক্ষ্য করি তাহাতে দেখা যায় যে কোন বস্তুর মাধ্যম ছাড়া শক্তির প্রকাশ ঘটে না। ইহা দ্বারা মনে হইবে যেন পদার্থের নিজস্ব কোন শক্তি নাই, বাহির হইতে ঐ পদার্থের উপর শক্তি প্রয়োগ করিলেই উহা কার্যক্ষম হয়। বর্তমান যুগে আবিষ্কৃত হইয়াছে যে প্রত্যেক পদার্থের মধ্যে একটি অন্তর্নিহিত শক্তি আছে যাহা সহজে আত্মপ্রকাশ করে না। কিন্তু কতকগুলি ব্যবস্থা দ্বারা পদার্থের মধ্যস্থ এই বিপুল পরিমাণ শক্তিকে বাহিরে আনা যায়, যাহা দ্বারা পৃথিবীর বুকে যেমন ধ্বংসলীলা সংঘটন করান যায়, তেমনি ঐ শক্তিকে সুনিয়ন্ত্রিতভাবে বাহিরে আনিয়া মানব কল্যাণের অনেক কাজে লাগানো যায়। পারমাণবিক বোমায় (atom bcmb) পারমাণবিক শক্তিকে বিপুল পরিমাণে বাহিরে আনিয়া যে ধ্বংসলীলার সৃষ্টি করা যায় তাহা এখন আর কাহারও কাছে অজ্ঞাত নয়। আবার এই পারমাণবিক শক্তিকে সুনিয়ন্ত্রিতভাবে বাহিরে আনিয়া এখন প্রচুর বিদ্যুৎ উৎপন্ন করা হইতেছে, যাহা দ্বারা শিল্পে বিদ্যুতের চাহিদা বহুল পরিমাণে মিটান সম্ভব হইতেছে। কল কারখানায় কয়লা এবং পেট্রোল পুড়াইয়া নানারূপ যন্ত্র চালানো হয় কিন্তু পৃথিবীতে উহাদের পরিমাণ সীমাবদ্ধ। তাই এক্ষণে পারমাণবিক শক্তির সাহায্যে (যাহা অফুরন্ত) নানাপ্রকার যন্ত্র চালাইবার চেষ্টা হইতেছে। বিশ্ববিখ্যাত বৈজ্ঞানিক আইনস্টাইন দেখাইয়াছেন যে, আট কোটি মণ কয়লা পুড়াইয়া যে তাপশক্তি পাওয়া যায় তাহা মাত্র এক সের পরিমাণ পদার্থের বিলোপসাধন* দ্বারা পাওয়া সম্ভব। এই পারমাণবিক শক্তির সাহায্যে মহাকাশযান চালনা করা হয় এবং নানাপ্রকার যুদ্ধাস্ত্রও প্রস্তুত করা হয়।

1-8. অণু, পরমাণু ও পরমাণু অপেক্ষাও ক্ষুদ্রতর কণা :

অণু ও পরমাণু : পূর্বেই বলা হইয়াছে যে পদার্থের (মৌলিক বা যৌগিক পদার্থের) **অণু** বলিতে উহার নিজস্ব ধর্মবিশিষ্ট ক্ষুদ্রতম স্বাধীন কণাকেই বুঝায়। দেখা গিয়াছে যে, পদার্থের অণু বিভাজ্য এবং ইহার বিভাজনে একাধিক কণা পাওয়া যায় যাহা অণু অপেক্ষাও ক্ষুদ্রতর। অণু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর এই কণাকে

---

* আইনষ্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্বে পদার্থ ও শক্তির মধ্যে একটি সমন্বয় সূত্র বর্ণিত হইয়াছে। ইহাতে বলা হইয়াছে যে, যে-কোন পদার্থকে শক্তিতে রূপান্তরিত করা যায়, আবার পদার্থে শক্তি বেশী প্রয়োগ করিলে উহার ভরের বৃদ্ধি হয়। যদি আলোকের বেগ c হয় ($c = 3 \times 10^{10}$ cm,/sec) তাহা হইলে আইনষ্টাইনের তত্ত্ব অনুযায়ী, m গ্রাম পদার্থের বিলোপসাধনে যে শক্তি পাওয়া যাইবে তাহার পরিমাণ হইবে $E = mc^2$ আর্গ।

পরমাণু বলে। অতএব পদার্থের অণু কতকগুলি পরমাণুর সমবায়ে গঠিত হয়। মৌলিক পদার্থের অণুতে এক বা একাধিক একই প্রকার পরমাণু থাকে, আর যৌগিক পদার্থের অণুতে বিভিন্নধর্মী দুই বা ততোধিক পরমাণু বিভিন্ন সংখ্যায় যুক্ত থাকে।

পরমাণু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কণা ঃ ডালটনের পরমাণুবাদ তত্ত্বে বলা হইয়াছিল যে পরমাণুই পদার্থের ক্ষুদ্রতম কণা যাহা অবিভাজ্য। কিন্তু বর্তমান যুগে পরমাণুকে আর অবিভাজ্য মনে করা হয় না, ইহা কয়েকটি আদি কণার দ্বারা গঠিত। এই আদি কণাগুলি পরমাণু অপেক্ষাও ক্ষুদ্রতর এবং ইহাদের নাম **ইলেকট্রন** (electron) **প্রোটন** (proton) ও **নিউট্রন** (neutron)। ইলেকট্রন ঋণাত্মক তড়িৎ ($-1{\cdot}59\times10^{-19}$ কুলম্ব) বহন করে এবং ইহা প্রায় ভরশূন্য (ইলেকট্রনের ভর= 9×10^{-28} গ্রাম)। প্রোটন ধনাত্মক তড়িৎ ($+1{\cdot}59\times10^{-19}$ কুলম্ব) বহন করে এবং ইহার ভর একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভরের প্রায় সমান (প্রোটনের ভর= $1{\cdot}67\times10^{-24}$ গ্রাম)। নিউট্রন নিস্তড়িৎ এবং ইহার ভর প্রোটনের ভরের সমান।

পরমাণুর গঠন ঃ রাদারফোর্ড-বোর পরমাণুর যে চিত্র কল্পনা করিয়াছিলেন তাহাতে পরমাণুর কেন্দ্রস্থলে, এক অতি ক্ষুদ্র স্থানে নিউট্রন ও প্রোটন একত্রে সংহত থাকিয়া পরমাণুর ভর সৃষ্টি করে। পরমাণুর এই ভারী অংশের নাম **নিউক্লিয়াস** (nucleus)। নিউক্লিয়াসে প্রোটন থাকায় (যাহা ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্থ) উহা ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্থ থাকিবে। নিউক্লিয়াসের চারিদিকে এবং নির্দিষ্ট দূরত্বে এক বা একাধিক ইলেকট্রন নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরিতে থাকে। এই ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনগুলির উপর যে মোট ঋণাত্মক তড়িৎ থাকে তাহা নিউক্লিয়াসের মোট ধনাত্মক তড়িতের সমান। কাজেই সাধারণ অবস্থায় পরমাণু তড়িৎশূন্য থাকে।

1-9. পদার্থবিজ্ঞানের বিভিন্ন শাখা ঃ পদার্থবিজ্ঞানে প্রধানতঃ শক্তি ও পদার্থ সম্বন্ধেই আলোচনা করা হয়। অধ্যয়নের সুবিধার জন্য ইহাকে ছয় ভাগে ভাগ করা হয়, যথা ঃ (1) সাধারণ পদার্থবিজ্ঞান (General physics), (2) তাপবিজ্ঞান (Heat), (3) শব্দ বিজ্ঞান (Sound), (4) আলোক বিজ্ঞান (Light), (5) চুম্বক বিজ্ঞান (Magnetism) এবং (6) তড়িৎ বিজ্ঞান (Electricity)। পদার্থ-বিজ্ঞানের এই শাখাগুলির বিস্তারিত বিবরণ পর পর দেওয়া হইবে।

সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞান
[General Physics]

অধ্যায় 2

রাশির একক এবং তাহাদের পরিমাপ পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত পুনরুল্লেখ
(Recapitulations of the units and their measurements)

2-1. ভৌত রাশি (Physical quantity) ঃ প্রকৃতির যে কোন পরিমাপযোগ্য রাশিকেই **ভৌতরাশি** বলে। যেমন, কোন জিনিসের ভর ও দৈর্ঘ্য এবং সময় প্রভৃতি ভৌতরাশি। কারণ ভর তুলা দ্বারা, দৈর্ঘ্য স্কেল দ্বারা এবং সময় ঘড়ি দ্বারা মাপা যায়। যাবতীয় ভৌতরাশিকে দুইভাগে ভাগ করা হইয়াছে, যথা ঃ (1) স্কেলার রাশি এবং (2) ভেক্টর রাশি [বিশেষ বিবরণের জন্য 3-6 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

2-2. ভৌত রাশির একক (Units of Physical quantities) ঃ কোন ভৌত রাশির পরিমাপ স্থির করিবার জন্য ঐ রাশিরই একটি সুবিধাজনক অংশকে নির্দিষ্ট মান (standard) ধরিয়া লওয়া হয় যাহাকে ঐ রাশির **একক** (units) বলে। রাশিটির মধ্যে ঐ একক যতবার থাকিবে সেই সংখ্যাই ঐ রাশির পরিমাপ হইবে। অতএব, **রাশির পরিমাপ=সংখ্যা×(রাশির একক)**।

উদাহরণ.—(i) দৈর্ঘ্য মাপিবার জন্য দৈর্ঘ্যেরই একটি নির্দিষ্ট সুবিধাজনক অংশ লইয়া তাহার নাম দেওয়া হয় **সেন্টিমিটার** (সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে)। কোন দৈর্ঘ্যের মধ্যে যদি ঐ সেন্টিমিটার 10 বার থাকে তাহা হইলে ঐ দৈর্ঘ্যের পরিমাপ হইবে 10 সেন্টিমিটার [সংখ্যা 10 × দৈর্ঘ্যের একক]। (ii) আবার বস্তুর ভর মাপিবার জন্য ভরের একটি নির্দিষ্ট সুবিধাজনক অংশ লইয়া তাহার নাম দেওয়া হয় **গ্রাম**। কোন বস্তুর মধ্যে যদি ঐ গ্রাম 1000 বার থাকে তাহা হইলে ঐ বস্তুর ভরের পরিমাপ হইবে 1000 গ্রাম=এক কিলোগ্রাম [সংখ্যা 1000 × ভরের একক গ্রাম]।

2-3. মৌলিক ও লব্ধ একক (Fundamental and derived units) ঃ বিজ্ঞানে যে বহু প্রকার রাশি আছে তাহাদের প্রত্যেকেরই নিজস্ব একক

আছে। দেখা গিয়াছে যে, যাবতীয় ভৌত রাশির এককগুলির মধ্যে মাত্র (i) দৈর্ঘ্য, (ii) ভর এবং (iii) সময়ের এককগুলি স্বতন্ত্র (অর্থাৎ এই তিনটি রাশির একক পরস্পর নির্ভরশীল নয়); আর অবশিষ্ট রাশিগুলির একক ঐ তিনটি রাশির একক দ্বারা গঠন করা যায়। এজন্য দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একককে **মৌলিক একক** বলে এবং অবশিষ্ট রাশিগুলির একককে **লব্ধ একক** বলে।

যদি দৈর্ঘ্য, ভর ও সময়ের একককে যথাক্রমে [L], [M] ও [T] দ্বারা প্রকাশ করা হয় [যাহাদিগকে মৌলিক এককের **ডাইমেন্‌সন্‌** বলে], তাহা হইলে অন্য কোন রাশির লব্ধ একককেও ঐ তিনটি মৌলিক রাশির একক দ্বারা প্রকাশ করা যাইবে। নিম্নে কয়েকটি লব্ধ এককের সহিত মৌলিক এককের সম্বন্ধ দেখান হইল [যে সম্বন্ধকে লব্ধ রাশির এককের **ডাইমেন্‌সন্‌** বলে]।

লব্ধ রাশির নাম	মৌলিক রাশির সহিত উহার সম্বন্ধ	লব্ধ রাশির এককের ডাইমেনসন	লব্ধ রাশির নাম	মৌলিক রাশির সহিত উহার সম্বন্ধ	লব্ধ রাশির এককের ডাইমেনসন
1. ক্ষেত্রফল	দৈর্ঘ্য × দৈর্ঘ্য	$[L^2]$	4. বেগ	$\frac{\text{দৈর্ঘ্য}}{\text{সময়}}$	$[LT^{-1}]$
2. আয়তন	$(\text{দৈর্ঘ্য})^3$	$[L^3]$	5. ত্বরণ	$\frac{\text{দৈর্ঘ্য}}{(\text{সময়})^2}$	$[LT^{-2}]$
3. ঘনত্ব	$\frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$	$[ML^{-3}]$	6. বল	ভর × ত্বরণ	$[MLT^{-2}]$

2-4. এককের বিভিন্ন পদ্ধতি এবং ঐ সব পদ্ধতিতে মৌলিক এককের নাম ও সংজ্ঞা : বিভিন্ন রাশির একককে প্রকাশ করিবার জন্য প্রধানতঃ দুইটি পদ্ধতি প্রচলিত আছে, যাহাদের একটিকে 'সেন্টিমিটার-গ্রাম-সেকেণ্ড' পদ্ধতি বলে (সংক্ষেপে **সি. জি. এস্. পদ্ধতি**) এবং অপরটিকে 'ফুট-পাউণ্ড-সেকেণ্ড' পদ্ধতি বলে (সংক্ষেপে **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি**)। ইহা ছাড়াও আর এক প্রকার পদ্ধতি আছে, যাহাকে 'মিটার-কিলোগ্রাম-সেকেণ্ড' পদ্ধতি (সংক্ষেপে **এম. কে. এস্. পদ্ধতি**) বলে।

মৌলিক এককগুলির মান নির্ণয় করিবার সমস্ত ক্ষমতা 'ওজন ও মাপের আন্তর্জাতিক কমিটির' হাতে ন্যস্ত [প্যারী সহরের নিকটে সেভ্রেতে এই কমিটির অফিস অবস্থিত) এবং এই কমিটি আন্তর্জাতিকভাবে স্বীকৃত। এই কমিটির দ্বারা মৌলিক এককগুলির স্থিরীকৃত মানের নাম ও সংজ্ঞা নিম্নে দেওয়া হইল।

(a) **দৈর্ঘ্যের একক :** (i) উপরে বর্ণিত কমিটির সংস্থায়, বিশুদ্ধ বরফের (0°C) উষ্ণতায় একটি প্ল্যাটিনাম ইরিডিয়ামের (সংকর ধাতু) দণ্ড রক্ষিত আছে,

যাহার দুই প্রান্তের দুইটি বিন্দুর মধ্যস্থ দূরত্বকে এক **মিটার** ধরা হয় এবং এই মিটারের 100 ভাগের এক ভাগ দৈর্ঘ্যকে **সেন্টিমিটার** বলা হয় যাহা **সি জি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক**।

(ii) লণ্ডনের বৃটিশ এক্সচেকারের দপ্তরে একটি ব্রোঞ্জের দণ্ড 62°F উষ্ণতায় রক্ষিত আছে। এই দণ্ডের দুই প্রান্তের দুইটি বিন্দুর মধ্যস্থ দূরত্বকে এক **গজ** (yard) ধরা হয়। এই গজের তিনভাগের এক ভাগ দৈর্ঘ্যকে **ফুট** বলা হয় যাহা **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে দৈর্ঘ্যের একক**।

(b) **ভরের একক ঃ** (i) 4°C উষ্ণতায় এক ঘন সেন্টিমিটার বিশুদ্ধ জলের ভরকে এক **গ্রাম** ধরা হয় যাহা **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক**।

(ii) ইংলণ্ডের 'বোর্ড অফ ট্রেডের' দপ্তরে এক তাল প্ল্যাটিনাম সংরক্ষিত আছে [যাহার গায়ে 'P. S. 1844, 1 lb' চিহ্নিত করা থাকে] যাহার ভরকে **পাউণ্ড** বলা হয় এবং ইহাই **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক**।

(c) **সময়ের একক ঃ** উভয় পদ্ধতিতেই সময়ের এককের নাম **সেকেণ্ড**। ভৌগোলিক মধ্যতলকে* পর পর দুইবার অতিক্রম করিতে সূর্যের যে সময় লাগে তাহাকে **সৌরদিন** বলে। নানা কারণে বৎসরের বিভিন্ন দিনে এই সৌরদিনের পরিমাণ বিভিন্ন হয়। এজন্য এক বৎসরের (365 দিনের) সৌরদিনের গড় লইয়া যে সময় পাওয়া যাইবে (যাহাকে **গড় সৌরদিন** বলে) তাহার 86400 ভাগের এক ভাগ সময়কে সেকেণ্ড বলে।

2-5. নির্দিষ্ট এককের গুণিতক কিংবা ভগ্নাংশ এককের ব্যবহার ঃ কোন রাশির পরিমাপ যখন খুব বড় কিংবা খুব ছোট হয় তখন ঐ রাশির স্থিরীকৃত একক দ্বারা উহাদিগকে মাপিলে বড় রাশির পরিমাপ-সংখ্যা অত্যধিক বড় হইবে এবং ছোট রাশির পরিমাপ সংখ্যা অত্যধিক ছোট হইবে। এজন্য বড় এবং ছোট রাশি মাপিবার জন্য স্থিরীকৃত এককের যথাক্রমে কোন গুণিতক কিংবা ভগ্নাংশ সংখ্যা লইয়া একটি নূতন একক গঠন করা হয়।

2-6. বিভিন্ন পদ্ধতিতে মৌলিক এককগুলির নাম এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ ঃ দুইটি প্রচলিত পদ্ধতিতে মৌলিক এককগুলির নাম, উহাদের গুণিতক এবং ভগ্নাংশের এককের নাম (যাহা ব্যবহারিক ক্ষেত্রে প্রয়োজনীয়) এবং ঐ দুই পদ্ধতিতে উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ একটি ছকে দেওয়া হইল যাহা দ্বারা উহাদিগকে মনে রাখিবার সুবিধা হইবে।

* পৃথিবীর উত্তর ও দক্ষিণ মেরুদ্বয় যে উল্লম্বতলে থাকে তাহাকে ভৌগোলিক মধ্যতল বলে।

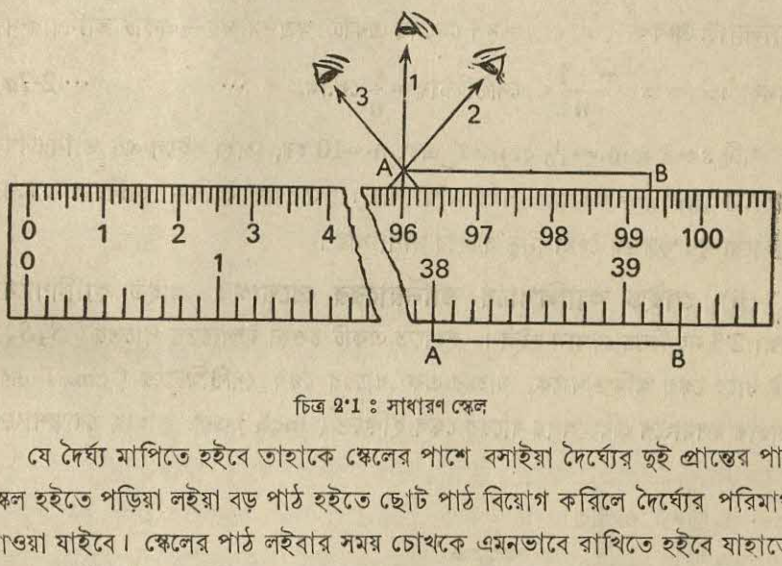
পদ্ধতি	দৈর্ঘ্যের একক	ভরের একক	সময়ের একক	পারস্পরিক সম্বন্ধ
সি. জি. এস্. পদ্ধতি*	**সেন্টিমিটার** (cm.) **এককের গুণিতক :** মিটার (m.) = 100 cm. কিলোমিটার (km.) = 1000 m. = 10^5cm. **এককের ভগ্নাংশ :** মিলিমিটার (mm.) = 1/10 cm.	**গ্রাম** (gm.) **এককের গুণিতক :** কিলোগ্রাম (kg.) = 1000 gm. কুইণ্টাল = 100 kg. মেট্রিক টন = 1000 kg. **এককের ভগ্নাংশ :** মিলিগ্রাম (mg.) = 1/1000 গ্রাম	**সেকেণ্ড** (sec) **এককের গুণিতক :** মিনিট (min.) = 60 sec. ঘণ্টা (h.) = 60 min. দিন (day) = 24 h. বৎসর (year) = $365\frac{1}{4}$ দিন	**দৈর্ঘ্যের সম্বন্ধ :** ইঞ্চি = 2·54 cm. মিটার = 39·37 inch. মাইল = 1·61 km.
এফ. পি.এস্. পদ্ধতি	**ফুট** (ft.) **এককের গুণিতক :** গজ (yd.) = 3 ft. মাইল (mile) = 1760 yds. ‡ আলোক বৎসর **এককের ভগ্নাংশ** ইঞ্চি (inch) = 1/12 ft.	**পাউণ্ড :** (lb). **এককের গুণিতক :** স্টোন (stone) = 14 lb. হন্দর (cwt.) = 112 lbs, টন (ton) = 20 হন্দর = 2240 lbs, **এককের ভগ্নাংশ :** আউন্স (oz.) = 1/16 lb. ড্রাম = 1/16 oz. = 1/256 lb. তোলা = 1/39 lb, গ্রেণ = 1/7000 lb.	**সেকেণ্ড** (sec.) **এককের গুণিতক :** সি. জি. এস্. পদ্ধতির অনুরূপ	**ভরের সম্বন্ধ** পাউণ্ড = 453·6 গ্রাম 2·2 lb = 1 kg. 1 তোলা = 11·65 গ্রাম 1 kg = একসের এবং প্রায় 1·2 ছটাক 1 সের = 932·2 গ্রাম 1 কিলোগ্রাম একসের অপেক্ষা প্রায় 68 গ্রাম বেশী।

* সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে, ডেসি (deci = $\frac{1}{10}$), সেণ্টি (centi = $\frac{1}{100}$), মিলি (milli = $\frac{1}{1000}$), ডেকা (deca = 10), হেক্টো (hecto = 100), এবং কিলো (kilo = 1000) শব্দগুলি প্রায়ই ব্যবহৃত হয় মিটার কিংবা গ্রাম কিংবা লিটার এককগুলির পূর্বে ঐ শব্দগুলি বসাইলে ঐ এককগুলির ততগুণ বুঝাইবে। **যথা,** ডেসিমিটার = $\frac{1}{10}$ মিটার ; ডেকাগ্রাম = 10 গ্রাম ; মিলিলিটার = $\frac{1}{1000}$ লিটার প্রভৃতি।

‡. গ্রহ-নক্ষত্রের দূরত্ব মাপিবার জন্য দৈর্ঘ্যের বড় একক **আলোক-বৎসর** লওয়া হয়। **আলোক-বৎসর** = $186000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365\frac{1}{4}$ মাইল।

2·7. দৈর্ঘ্যের পরিমাপ (Measurement of length) ঃ

(a) **সাধারণ মিটার স্কেল দ্বারা ঃ** সাধারণ স্কেলে একটি লম্বা কাঠের কিংবা ষ্টীলের পাতলা পাত থাকে যাহার এক ধার সেন্টিমিটারে এবং ইহার দশমাংশে (অর্থাৎ মিলিমিটারে) ভাগ করা থাকে এবং এই স্কেল 0 হইতে 100 সে.মি. পর্যন্ত বিস্তৃত (2·1 নং চিত্রের উপরের স্কেল)। পাতের অপর ধার ইঞ্চিতে এবং তাহার দশমাংশে ভাগ করা থাকে এবং এই স্কেল .0 হইতে 39 ইঞ্চি পর্যন্ত বিস্তৃত [2·1 নং চিত্রের নীচের স্কেল]।

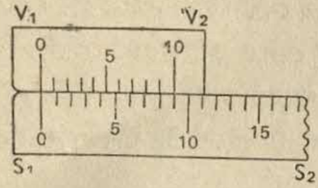


চিত্র 2·1 ঃ সাধারণ স্কেল

যে দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে তাহাকে স্কেলের পাশে বসাইয়া দৈর্ঘ্যের দুই প্রান্তের পাঠ স্কেল হইতে পড়িয়া লইয়া বড় পাঠ হইতে ছোট পাঠ বিয়োগ করিলে দৈর্ঘ্যের পরিমাপ পাওয়া যাইবে। স্কেলের পাঠ লইবার সময় চোখকে এমনভাবে রাখিতে হইবে যাহাতে চোখ এবং দৈর্ঘ্যের প্রান্তবিন্দুর যুক্ত সরলরেখা স্কেলকে সমকোণে ছেদ করে [2·1 নং চিত্রে চোখের 1নং অবস্থান]। নতুবা স্কেল পড়ায় যে ভুল হইবে তাহাকে **প্যারালাক্স ভুল** (parallax error) বলে। সাধারণ স্কেল দ্বারা বড় দৈর্ঘ্য মাপাই সুবিধা, কারণ এই মাপে যে ভুল আসে তাহা দৈর্ঘ্যের তুলনায় নগণ্য। [সবিশেষ বিবরণের জন্য গ্রন্থকারের 'ব্যবহারিক পদার্থ-বিজ্ঞানের' 2·1 পরিচ্ছেদ দেখ]।

(b) **ভার্নিয়ার স্কেল দ্বারা ঃ (i) ভার্নিয়ারের নীতি ঃ** একটি মাত্র স্কেলের সাহায্যে কোন দৈর্ঘ্য সঠিকভাবে মাপা সম্ভব নয়, এজন্য ঐ স্কেলের [যাহাকে মূল স্কেল (S_1S_2) বলে] পাশে আর একটি সঞ্চরণশীল ছোট স্কেল চলাফেরা করিতে পারে, যাহাকে রৈখিক বা সরল **ভার্নিয়ার স্কেল** (Vernier Scale, V_1V_2) বলে [2·2 নং চিত্র]। ভার্নিয়ার স্কেলে সমভাবে ভাগ করা কতকগুলি ঘর থাকে (ধরা যাক্ n-সংখ্যক ঘর) যাহা মূল স্কেলের এক কমসংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের

সহিত [($n-1$) সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের সহিত] মিলিয়া থাকে। মূল স্কেলের একটি ক্ষুদ্রতম ঘর ও একটি ভার্নিয়ারের ঘরের মধ্যে যে ফাঁক থাকে তাহাকে **ভার্নিয়ার ধ্রুবক** [vernier constant (*v. c.*)] বলে। ভার্নিয়ারের যে n-সংখ্যক ঘর মূল স্কেলের ($n-1$) সংখ্যক ক্ষুদ্রতম ঘরের (যাহার মান ধরা যাক s সেন্টিমিটার) সহিত মিলিয়া থাকে তাহা হইতে ভার্নিয়ার ধ্রুবক নির্ণয় করা যায়। অতএব



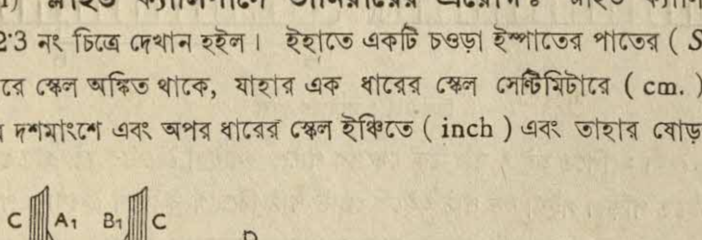
চিত্র 2·2 : ভার্নিয়ার স্কেল

ভার্নিয়ার ধ্রুবক (*v. c.*) = মূল স্কেলের একটি ক্ষুদ্রতম ঘর—একটি ভার্নিয়ার-ঘর

অথবা, $v.c. = (s - \frac{n-1}{n}s)$ সেন্টিমিটার $= \frac{s}{n}$ সে.মি. ... ...(2-7a)

যদি $s = 1$ mm. $= \frac{1}{10}$ cm. হয় এবং $n = 10$ হয়, তাহা হইলে এই ভার্নিয়ারের সাহায্যে $\frac{1}{10 \times 10} = \cdot 01$ cm. পর্যন্ত মাপা যায়। সুতরাং রৈখিক ভার্নিয়ার স্কেলের সাহায্যে খুব ক্ষুদ্রতম দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে মাপা যায়।

(ii) **স্লাইড ক্যালিপার্সে ভার্নিয়ারের প্রয়োগ :** স্লাইড ক্যালিপার্সের নক্সা 2·3 নং চিত্রে দেখান হইল। ইহাতে একটি চওড়া ইস্পাতের পাতের (S_1S_2) দুই ধারে স্কেল অঙ্কিত থাকে, যাহার এক ধারের স্কেল সেন্টিমিটারে (cm.) এবং তাহার দশমাংশে এবং অপর ধারের স্কেল ইঞ্চিতে (inch) এবং তাহার ষোড়শাংশে



চিত্র 2·3 : স্লাইড ক্যালিপার্স

ভাগ করা থাকে। এই স্কেলকে (S_1S_2) মূল স্কেল বলে। এই মূল স্কেলের উপরে ভার্নিয়ার স্কেল (V_1V_2) চলাফেরা করিতে পারে। এই ভার্নিয়ার স্কেলের যে ধার ইঞ্চি স্কেলের উপর চলে (ইঞ্চি স্কেল S_1S_2 পাতের উপরের ধারে থাকে) তাহাতে 8 ঘর থাকে এবং যে ধার সেন্টিমিটার স্কেলের উপর চলে (সে. মি. স্কেল

S_1S_2 পাতের নীচের ধারে থাকে) তাহাতে 10 ঘর থাকে। কাজেই (2-7a) সমীকরণ হইতে বলা যায় যে, **ভার্নিয়ার ধ্রুবক** ($v.\,c.$) $\frac{1}{16 \times 8} = \frac{1}{128}$ ইঞ্চি কিংবা $v.\,c. = \frac{1}{10 \times 10} = \cdot 01$ সেন্টিমিটার। ভার্নিয়ারের বামদিকে একটি বাহু (BB_1) এবং মূল স্কেলের বাম প্রান্তে আর একটি বাহু (AA_1) যুক্ত থাকে। এই দুই বাহুর মধ্যে যখন কোন ফাঁক না থাকে তখন দুই ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ মূল স্কেলের শূন্য দাগের সহিত মিলিয়া থাকে।

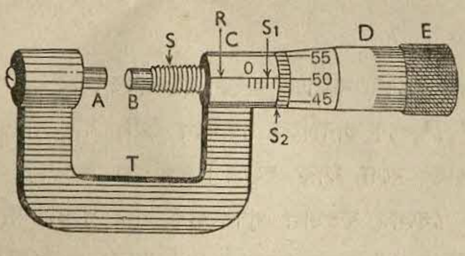
কোন বস্তুর (ধরা যাক্ R দণ্ড) দৈর্ঘ্য মাপিতে হইলে দুই বাহুর (AA_1 ও BB_1) ফাঁকের মধ্যে [ভার্নিয়ার V_1V_2-কে ডানদিকে সরাইলে BB_1 বাহু সরিয়া যাইবে এবং BB_1 ও AA_1 বাহুর মধ্যে ফাঁক হইবে] বস্তুটিকে আটকাইয়া ভার্নিয়ায়ের শূন্য দাগের বামদিকে স্কেলের যতগুলি পূর্ণসংখ্যক পাঠ পাওয়া যায় (ধরা যাক্ S cm.) তাহা লইতে হইবে এবং ইহার পরে যদি ভার্নিয়ারের m-সংখ্যক ঘর মূল স্কেলের কোন দাগের সহিত মিলিয়া থাকিতে দেখা যায় তাহা হইলে বস্তুর প্রকৃত দৈর্ঘ্য হইবে $l = [\,S + m \times (v.c.)\,]$ cm. ··· (2-7b)

[**দ্রষ্টব্য :** ভার্নিয়ায় স্কেল এবং স্লাইড ক্যালিপার্সে তাহার প্রয়োগের সবিশেষ বিবরণ গ্রন্থকারের 'ব্যবহারিক পদার্থ বিজ্ঞানের' 2-2 ও 2-3 পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে।]

(c) **স্ক্রু-এর নীতির প্রয়োগ দ্বারা :** (i) **স্ক্রু-এর নীতি :** যখন একটি নিখুঁতভাবে প্যাঁচকাটা স্ক্রু-কে তাহার নাটের মধ্যে [স্ক্রু-এর সমভাবে প্যাঁচকাটা একটি গর্ত কিংবা চোঙকে নাট (nut) বলে] ঘুরান হয় তখন স্ক্রু-এর মাথার একবার পূর্ণ ঘূর্ণনের জন্য উহার প্রান্তবিন্দুর যে রৈখিক সরণ হয় তাহাকে স্ক্রু-এর **পীচ** (pitch) বলে। স্ক্রু-এর মাথার পূর্ণ-ঘূর্ণনের জন্য যে রৈখিক সরণ হয় তাহা মাপিবার জন্য একটি রৈখিক স্কেল (যাহা mm.-এ কিংবা $\frac{1}{2}$ mm.-এ দাগ কাটা) থাকে এবং উহার ভগ্নাংশ ঘূর্ণনের জন্য স্ক্রু-প্রান্তের যে রৈখিক সরণ হয় তাহা মাপিবার জন্য বৃত্তাকার স্কেল-সম্বলিত একটি চোঙ বা চাকতি স্ক্রু-এর মাথায় আটকানো থাকে।

যদি স্ক্রু-এর পীচ p mm. হয় এবং স্ক্রু-এর মাথার বৃত্তাকার স্কেলে সমান N সংখ্যক ঘর থাকে তাহা হইলে স্ক্রু-প্রান্তের নিম্নতম সরণ যাহা মাপা যাইবে তাহার পরিমাণ হইবে $l.\,c. = p/N$ mm. এবং ইহাকে স্ক্রু-সম্বলিত যন্ত্রের **লঘিষ্ঠ মাপ** (least count—$l.\,c.$) বলে। যদি $p = 1$ mm. এবং $N = 100$ হয় তাহা হইলে স্ক্রু-সম্বলিত যন্ত্রের দ্বারা $\frac{1}{100} = \cdot 01$ mm. কিংবা $\cdot 001$ cm. পর্যন্ত মাপা যায়।

(ii) **স্ক্রু-গেজে স্ক্রু-এর নীতির প্রয়োগ :** স্ক্রু-গেজের নক্সা 2·4 নং চিত্রে দেখান হইল। ইহাতে U-আকৃতির একটি ইস্পাত-দণ্ড (T)আছে যাহার বাম বাহুর উপর প্রান্তে A-দণ্ড এবং ডান বাহুর উপরে C-চোঙ আটকানো থাকে। C-চোঙের ভিতরে প্যাঁচকাটা থাকে যাহার মধ্যে একটি সমভাবে প্যাঁচকাটা স্ক্রু (S) চলাফেরা করিতে পারে। স্ক্রু-এর মাথায় একটি চোঙ (D) আটকানো থাকে যাহার



চিত্র 2.4 : স্ক্রু-গেজ

ঢালু ধারের একটি বৃত্তাকার স্কেলকে (S_2) সাধারণতঃ 100 ভাগে ভাগ করা থাকে। C-চোঙের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি নির্দেশক রেখার (R), একধারে একটি রৈখিক স্কেল (S_1) থাকে যাহা সাধারণতঃ মিলিমিটারে দাগ কাটা থাকে। যখন স্ক্রু-কে ডানদিকে ঘুরাইয়া উহার B প্রান্তকে দণ্ডের A প্রান্তের সংস্পর্শে আনা হয় তখন বৃত্তাকার স্কেলের (S_2) শূন্য দাগ নির্দেশক-রেখার (R) সহিত মিলিয়া থাকে এবং বৃত্তাকার স্কেলের (S_2) পরিধি রৈখিক স্কেলের (S_1) শূন্যদাগের সহিত মিলিয়া থাকে। ইহার ব্যতিক্রম হইলে যন্ত্রের ভুল থাকিবে যাহাকে **যান্ত্রিক ভুল** বলে [যাহার মান ($=e$) নির্ণয় করিয়া রাখিতে হইবে]।

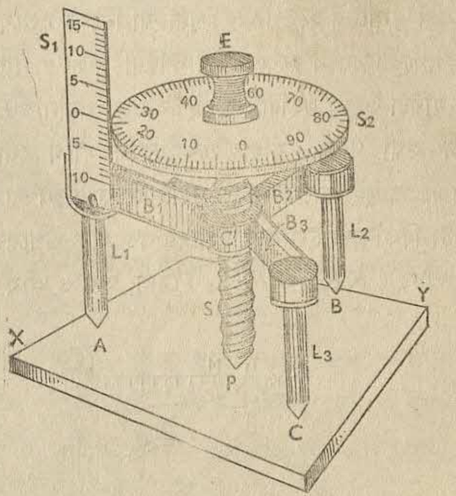
যখন কোন বস্তুকে (যাহার দৈর্ঘ্য কিংবা ব্যাস কিংবা বেধ মাপিতে হইবে) স্ক্রু-গেজের স্থির প্রান্ত (A) এবং স্ক্রু-এর B প্রান্তের মধ্যে আটকাইয়া রাখা হয়, তখন যদি বৃত্তাকার স্কেলের বামপার্শ্বে রৈখিক স্কেলের m-সংখ্যক পূর্ণ-ঘর থাকে (যাহার এক ঘরের মান$=s$ মি. মি. ধরা যাক্) এবং রৈখিক স্কেলের একটি ঘরের কিছু ভগ্নাংশ (ধরা যাক্ c mm.) বেশী থাকে তাহা হইলে প্রদত্ত বস্তুটির দৈর্ঘ্য হইবে $d=(ms+c)$ mm.। যদি দেখা যায় যে বৃত্তাকার স্কেলের (S_2) n-সংখ্যক ঘর নির্দেশক রেখার সহিত মিলিয়া আছে তাহা হইলে $c=(n \times l.c.)$ mm.। অতএব,

$d=(m \times s+n \times l.c.)$ মিলিমিটার ... ... (2-7c)

[**দ্রষ্টব্য :** স্ক্রু-এর নীতি এবং স্ক্রু-গেজে ইহার প্রয়োগ সম্বন্ধে যাবতীয় তথ্য গ্রন্থকারের 'ব্যবহারিক পদার্থ-বিজ্ঞানের' 2-4 ও 2-5 পরিচ্ছেদে পাওয়া যাইবে।]

(iii) **স্ফেরোমিটারে স্ক্রু-এর নীতির প্রয়োগ :** স্ফেরোমিটারের নক্সা 2·5 নং চিত্রে দেখান হইল। ইহাতে একটি প্যাঁচকাটা স্ক্রু (S) সমভাবে প্যাঁচকাটা একটি নাটের (C') মধ্যে চলাফেরা করিতে পারে। স্ক্রু-এর মাথায় একটি গোল চাকৃতি আটকাইয়া তাহার পরিধিকে সমান N-সংখ্যক ঘরে ($N=$সাধারণতঃ 100)

ভাগ করা থাকে যাহাকে বৃত্তাকার স্কেল (S_2) বলে। স্ক্রু-এর রৈখিক সরণ বৃত্তাকার স্কেলের পার্শ্বস্থিত রৈখিক স্কেল (S_1) হইতে পাওয়া যায়। নাটের (C') সঙ্গে তিনটি অনুভূমিক ধাতব দণ্ড (B_1, B_2 ও B_3) 120° ব্যবধানে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া উহাদের প্রান্তে তিনটি সমান দৈর্ঘ্যের উল্লম্ব দণ্ড (L_1, L_2 ও L_3) সমকোণে যুক্ত করা হয় যাহাদের পাদবিন্দু (A, B ও C) একটি সমবাহু ত্রিভুজ (ABC) গঠন করে। স্ক্রু-এর সূক্ষ্ম অগ্রভাগ (P) ABC ত্রিভুজের মধ্যবিন্দুকে স্পর্শ করে।



চিত্র 2·5 : স্ফেরোমিটার

স্ফেরোমিটারের ABC সমতল হইতে অন্য কোন তলের উচ্চতা কিংবা নিম্নতা মাপিতে হইলে স্ক্রু-এর মাথাকে উপযুক্ত দিকে ঘুরাইয়া উহার সূক্ষ্মাগ্রকে প্রদত্ত তলের সংস্পর্শে আনিতে হইবে। এক্ষণে প্রদত্ত তলকে সরাইয়া স্ক্রু-কে উপযুক্ত দিকে ঘুরানো হইল যাহাতে উহার সূক্ষ্মাগ্র ABC সমতলকে স্পর্শ করে। স্ক্রু-এর সূক্ষ্মাগ্রকে প্রথমে প্রদত্ত তলে এবং পরে ABC সমতলের সংস্পর্শে আনিতে যদি বৃত্তাকার স্কেলের m-সংখ্যক পূর্ণ-ঘূর্ণন দেওয়ার পরও উহার অতিরিক্ত n-ঘর ঘুরাইতে হয় তাহা হইলে প্রদত্ত তল হইতে ABC সমতলের দূরত্ব হইবে $h' = (Nm + n) \times l.c.$ mm. (2-7d)

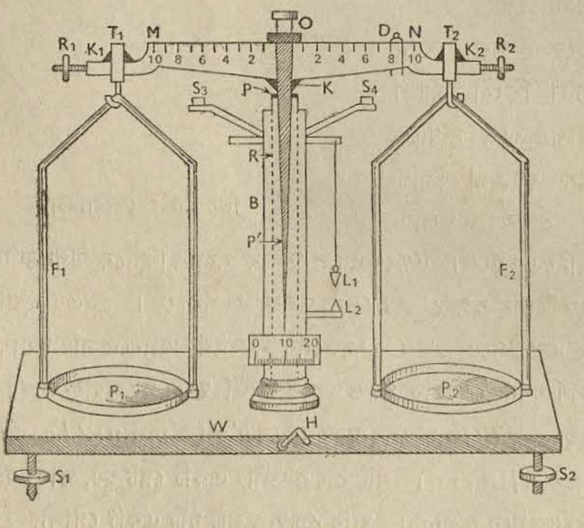
অথবা, $h = h'/10$ cm.। যদি প্রদত্ত তলটি একটি প্লেট হয়, তাহা হইলে প্লেটের উচ্চতা বা বেধ হইবে h cm.। আর প্রদত্ত তলটি যদি একটি গোলীয় তল হয়, তাহা হইলে তাহার বক্রতা-ব্যাসার্ধ হইবে, $R = \left(\frac{d^2}{6h} + \frac{h}{2}\right)$ cm. ... (2-7e)

[এখানে d = স্ফেরোমিটারের উল্লম্ব দণ্ডত্রয়ের (L_1, L_2 ও L_3) যে কোন দুইটির প্রান্তবিন্দুর গড় দূরত্ব]।

[**দ্রষ্টব্য :** বিশেষ বিবরণের জন্য গ্রন্থকারের 'ব্যবহারিক পদার্থ-বিজ্ঞানের' 2-6 পরিচ্ছেদ দেখ।]

2-8. সাধারণ তুলার দ্বারা বস্তুর ভর নির্ণয় (Measurement of mass of a body by common balance) : সাধারণ তুলার গঠন : ইহার বিশেষ বিশেষ অংশগুলির বিবরণ পর পৃষ্ঠায় দেওয়া হইল।

(i) **তুলাদণ্ড** (MN).—ইহা একটি অনুভূমিক ধাতব দণ্ড যাহার ঠিক মধ্যস্থানের (O) নীচে ত্রিকোণাকৃতির একটি অ্যাগেট পাথরের (K) মোটা দিকটা আটকানো থাকে [2·6 নং চিত্র]। ঐ পাথরের সরু ধার একটি ফাঁপা থামের (B) মধ্যস্থ নিরেট দণ্ডের উপর (R) স্থাপিত অ্যাগেট পাথরের প্লেটের (P) উপর বসিয়া থাকে। নীচের হাতল (H) ঘুরাইয়া নিরেট দণ্ডকে (R) উপরে তুলিলে তুলাদণ্ডটি K-পাথরের সরু ধারকে আলম্ব করিয়া দুলিতে পারে। তুলাদণ্ডের মধ্যবিন্দুকে (O) শূন্য ধরিয়া উহার দুইদিকের দুই বাহুকে সমান 10 ভাগে (এবং তাহাদের ভগ্নাংশে) ভাগ করা থাকে, যাহার যে কোন দাগে রোহী (D) বসানো যাইতে পারে। তুলাদণ্ডের দুই প্রান্তে আরও দুইটি ত্রিকোণাকৃতির অ্যাগেট পাথরের (K_1 ও K_2) মোটা দিকটা আটকাইয়া উহাদের সরু ধার উপরের দিকে রাখা হয়। তুলাদণ্ডের দুই বাহুর (KK_1 ও KK_2) দৈর্ঘ্য, ভর ও আকার সমান।



চিত্র 2·6 : সাধারণ তুলা

(ii) **অন্যান্য অংশ**.—তুলাদণ্ডের প্রান্তস্থিত K_1 ও K_2 অ্যাগেট পাথরের সরু ধারের উপর দুইটি স্টীরাপ (T_1 ও T_2) বসাইয়া তাহাদের আংটা হইতে দুইটি আয়তাকার ফ্রেম (F_1 ও F_2) ঝুলাইয়া দেওয়া হয় এবং তাহাদের নীচে দুইটি তুলাপাত্র (P_1 ও P_2) রাখা হয়। তুলাদণ্ডের মধ্যস্থানে একটি লম্বা সূচকের (P') মোটা দিকটা আটকানো থাকে এবং ইহার সরু-প্রান্ত থাম-সংলগ্ন উল্লম্ব স্কেলের উপর চলাফেরা করিতে পারে। এই স্কেলের বামদিক হইতে ডানদিকে 20টি ঘর থাকে।

ভর নির্ণয়ের নীতিঃ তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্তের স্ক্রু দুইটির (R_1 ও R_2) একটিকে (কিংবা দুইটিকে) সরানো হইল যাহাতে সূচকের নিম্নপ্রান্ত নীচের স্কেলের মধ্যদাগের (10 দাগের) দুইদিকে সমান দূর পর্যন্ত দোলে। এইবার বাম পাল্লায় (P_1) পরিমেয় বস্তুকে বসাইয়া ডান পাল্লায় (P_2) উপযুক্ত পরিমাণ বাটখারা (ওজনের বাক্স হইতে) বসানো হইল যাহাতে সূচকের অগ্রভাগ পুনরায় স্কেলের মধ্যদাগের (10 দাগের) দুইধারে সমান দূর পর্যন্ত দোলে। যদি দুই পাল্লার ওজন এবং তুলাদণ্ডের দুই বাহুর দৈর্ঘ্য সমান হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে,*

বস্তুর ভর=বাটখারার ভর ... ... (2-8a)

2-9. ভাল তুলাযন্ত্রের আবশ্যক গুণ (Requisites of a good balance)ঃ ভাল তুলাযন্ত্রের নিম্নলিখিত গুণগুলি থাকার প্রয়োজন।

(a) তুলা **নির্ভুল** (true) হইবে। অর্থাৎ সমান ভরের দুইটি বস্তুকে দুই পাল্লার পাত্রে রাখিলে তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকিবে। এজন্য (i) পাল্লা দুইটির ভর এবং তুলাদণ্ডের দুই বাহুর ভর ও দৈর্ঘ্য সমান রাখিতে হইবে। (ii) তুলাদণ্ডের অনুভূমিক অবস্থায় উহার ভারকেন্দ্র আলম্বের (K) খাড়া নীচে থাকিবে।

(b) তুলা **সুবেদী** (sensitive) হইবে। অর্থাৎ দুই পাল্লার ভরের সামান্য পার্থক্য হইলেই তুলাদণ্ডটি তাহার অনুভূমিক অবস্থা হইতে বিচ্যুত হইবে। এজন্য (i) তুলাদণ্ডের দুই বাহু লম্বা এবং হাল্কা করিতে হইবে এবং (ii) তুলাদণ্ডের ভারকেন্দ্র আলম্বের (K) খুব কাছে রাখিতে হইবে।

(c) তুলা **সুস্থিত** (stable) হইবে। অর্থাৎ তুলাদণ্ডটি তাহার সাম্য অবস্থা হইতে সামান্য বিচ্যুত হইলে উহা সত্বর তাহার সাম্য অবস্থায় ফিরিয়া আসিবে। এজন্য তুলাদণ্ডের ভারকেন্দ্র আলম্বের (K) বেশী নীচে থাকার প্রয়োজন।

2-10. সাধারণ তুলার দ্বারা ভর মাপিবার অন্যান্য পদ্ধতিঃ (a) **বোর্ডার পদ্ধতি** (Border's method)ঃ এই পদ্ধতিতে (i) প্রথমে পরিমেয় বস্তুকে বাম পাল্লায় রাখিয়া, ডান পাল্লায় উপযুক্ত পরিমাণ শুষ্ক বালি স্থাপন করিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হয়। (ii) ইহার পরে বাম পাল্লা

---

* তুলাদণ্ড যখন অনুভূমিক থাকে তখন উহার মধ্যবিন্দু K-কে কেন্দ্র করিয়া উহার দুই প্রান্তের ওজন-দ্বয়ের ভ্রামক (moment) লইলে উহারা সমান হইবে [5-4 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]। সুতরাং, (P_1 পাল্লার ওজন + বস্তুর ওজন) × বাম বাহুর দৈর্ঘ্য (KK_1) = (P_2 পাল্লার ওজন + বাটখারার ওজন) × ডান বাহুর দৈর্ঘ্য (KK_2)। যদি দুই পাল্লার ওজন এবং দুই বাহুর দৈর্ঘ্য সমান হয় তাহা হইলে
বস্তুর ওজন = বাটখারার ওজন ... (2-8a)

হইতে বস্তুকে সরাইয়া লইয়া উহার স্থানে উপযুক্ত পরিমাণের বাটখারা (ওজনের বাক্স হইতে) স্থাপন করা হয় যাহাতে এই বাটখারা এবং ডান পাল্লার বালি তুলাদণ্ডকে পুনরায় অনুভূমিক করে। এই অবস্থায় **বাটখারাগুলির ভর=বস্তুর ভর।**

(b) **গাউসের পদ্ধতি** (Gauss's method) : যে তুলার দুই বাহুর দৈর্ঘ্য অসমান এবং দুই বাহু-সংলগ্ন পাল্লা দুইটির ওজনও অসমান অথচ প্রাথমিক অবস্থায় তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকে, সেই তুলা দ্বারা বস্তুর প্রকৃত ভর (W) পাইতে এই পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

ধরা যাক্, তুলাদণ্ডের বাম ও ডান বাহুর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে a ও b এবং উহাদের সংলগ্ন পাল্লা দুইটির ওজন যথাক্রমে w_1 ও w_2। তুলাদণ্ডটি প্রাথমিক অবস্থায় অনুভূমিক আছে এবং উহাকে আরও দুইবার অনুভূমিক করা হইল ; একবার বস্তুকে বাম পাল্লায় এবং W_1 গ্রাম বাটখারা ডান পাল্লায় রাখিয়া, আর একবার বস্তুকে ডান পাল্লায় এবং W_2 গ্রাম বাটখারা বাম পাল্লায় রাখিয়া। কাজেই আমরা লিখিতে পারি,

$w_1 a = w_2 b$ [তুলাদণ্ডের প্রাথমিক অনুভূমিক অবস্থায়]···(2-10a)

$(W+w_1)a=(W_1+w_2)b$ [তুলাদণ্ডের দ্বিতীয় অনুভূমিক অবস্থায়]···(2-10b)

$(W_2+w_1)a=(W+w_2)b$ [" তৃতীয় " "]···(2-10c)

অতএব, $Wa=W_1 b$ [(2-10a) ও (2-10b) হইতে] ···(2-10d)

$W_2 a = Wb$ [(2-10a) ও (2-10c) হইতে] ···(2-10e)

অথবা, $W=\sqrt{W_1 W_2}$ এবং $\frac{a}{b}=\frac{W_1}{W}=\frac{W}{W_2}=\sqrt{\frac{W_1}{W_2}}$ ··· (2-10f)

(2-10f) সমীকরণ হইতে বস্তুর প্রকৃত ওজন (W) এবং তুলাদণ্ডের বাহুদ্বয়ের দৈর্ঘ্যের অনুপাত ($a : b$) পাওয়া যাইবে।

2-11. ত্রুটিপূর্ণ তুলার দ্বারা জিনিস ক্রয়ে লাভ-লোকসানের হিসাব : সাধারণ তুলায় দুইপ্রকার ত্রুটি থাকিতে পারে। ইহাদের সম্বন্ধে নীচে বলা হইল।

(i) **প্রথম ত্রুটি**—এই প্রকার ত্রুটিতে তুলার বাম ও ডান বাহুর দৈর্ঘ্য (যথাক্রমে a ও b) অসমান থাকে এবং ঐ দুই বাহু-সংলগ্ন পাল্লা দুইটির ভরও (যথাক্রমে w_1 ও w_2) অসমান থাকে কিন্তু প্রাথমিক অবস্থায় তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকে। এই অবস্থায় $w_1 a = w_2 b$ ···(2-11a)

ইহার পর নির্দিষ্ট বাটখারা (যাহার চিহ্নিত ভর W গ্রাম) বাম ও ডান পাল্লায় পর্যায়ক্রমে স্থাপন করিয়া অপর পাল্লায় যথাক্রমে W_1 ও W_2 গ্রাম জিনিস রাখিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হইল। এই দুই অবস্থার জন্য,

$$(W+w_1)a=(W_1+w_2)b\ ;\ (W_2+w_1)a=(W+w_2)b \qquad \cdots(2\text{-}11b)$$

উপরের সমীকরণগুলি হইতে লেখা যায়, $Wa=W_1b$ এবং $W_2a=Wb$।

অথবা, $$(W_1+W_2)-2W=W\frac{a}{b}+W\frac{b}{a}-2W=W\frac{(a-b)^2}{ab} \cdots(2\text{-}11c)$$

যেহেতু $a \neq b$, $(W_1+W_2)>2W$। অর্থাৎ ক্রেতা বেশী জিনিস পাইল।

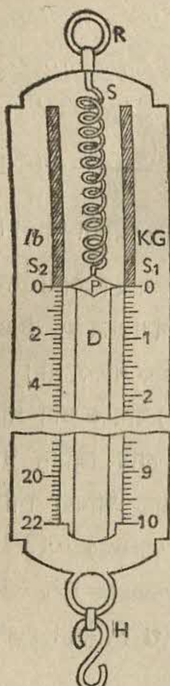
(ii) **দ্বিতীয় ত্রুটি.**—এই প্রকার ত্রুটিতে তুলার দুই বাহুর দৈর্ঘ্য সমান $(=a)$ থাকে কিন্তু বাম ও ডান বাহু-সংলগ্ন পাল্লা দুইটির ওজন (যথাক্রমে w_1 ও w_2) অসমান থাকে। এই কারণে তুলাদণ্ড প্রাথমিক অবস্থায় অনুভূমিক থাকে না। এই অবস্থায় একটি নির্দিষ্ট বাটখারা (যাহার চিহ্নিত ভর$=W$ গ্রাম) বাম ও ডান পাল্লায় পর্যায়ক্রমে বসাইয়া তুলার অপর পাল্লায় যথাক্রমে W_1 ও W_2 গ্রাম জিনিস স্থাপন করিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হইল। এই দুই অবস্থার জন্য আমরা লিখিতে পারি $(W+w_1)a=(W_1+w_2)a$; $(W_2+w_1)a=(W+w_2)a \cdots(2\text{-}11d)$

(2-11d) সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়, $W-W_1=(w_2-w_1)=W_2-W$; অতএব $2W=(W_1+W_2)$। সুতরাং বিক্রিত জিনিস=প্রাপ্ত জিনিস। এখানে ক্রেতা বা বিক্রেতার কাহারও লোকসান হইল না।

এজন্য বাজারে যে পরিমাণ জিনিস ক্রয় করিতে হইবে তাহার অর্ধেকটা এক পাল্লায় এবং অপর অর্ধেক অপর পাল্লায় লইলে ক্রেতার লোকসানের ভয় থাকে না।

2-12. স্প্রিং-তুলা এবং ইহার ব্যবহার (Spring balance and its uses) : গঠন : স্প্রিং-তুলায় একটি শক্ত প্যাঁচান স্প্রিং (S) আছে যাহার উপরপ্রান্ত একটি রিং-এর (R) সহিত এবং নিম্নপ্রান্ত একটি লম্বা দণ্ডের (D) সহিত দৃঢ়ভাবে আটকানো থাকে। বস্তুকে ঝুলাইবার জন্য দণ্ডের (D) নীচে একটি আংটা (H) লাগানো থাকে। দণ্ড ও স্প্রিং-এর সংযোগস্থলে একটি সূচক (P) থাকে যাহার দুই সরুপ্রান্ত দুইটি স্কেলের (S_1 ও S_2) উপর চলাফেরা করিতে পারে [2·7 নং চিত্রে সূচকের দুই প্রান্ত দুই স্কেলের (0–0) দাগের সহিত মিলিয়া রহিয়াছে]। স্প্রিং-এর আবরণের সামনের সমতল পাতের মধ্যভাগে, একটি লম্বা-চওড়া ছিদ্রের দুই ধারে দুইটি স্কেল অঙ্কিত করা থাকে। একটি নির্দিষ্ট স্থানের জন্য একপাশের স্কেলকে (S_2) পাউণ্ডে ও তাহার ভগ্নাংশে এবং অপর পাশের স্কেলকে (S_1) কিলোগ্রামে এবং তাহার দশমাংশে ভাগ করা থাকে [2·7 নং চিত্র]।

ভর ও ভার মাপিবার নীতি :—তুলার আংটায় (H) ঝুলান বস্তুর ভর যদি m হয় তাহা হইলে পৃথিবী উহাকে mg* বল দ্বারা আকর্ষণ করিবে। এই বলের প্রভাবে যদি স্প্রিং-এর প্রসারণ (কাজেই সূচকের সরণ) e হয় তাহা হইলে স্প্রিং-এর স্থিতিস্থাপকতা সীমার মধ্যে [8-1(c) পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] $e \propto mg$। নির্দিষ্ট স্থানে g স্থির থাকে, কাজেই $e \propto m$; অর্থাৎ সূচকের সরণ $e \propto m$ (বস্তুর ভর)। ইহাই বস্তুর ভর মাপিবার নীতি যাহা একটি নির্দিষ্ট স্থানের জন্য প্রযোজ্য।



চিত্র 2·7 : স্প্রিং তুলা

আবার যদি একই বস্তুকে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া যাওয়া হয় তাহা হইলে m স্থির থাকিলেও g-এর মানের পরিবর্তন হইবে। এক্ষেত্রে সূচকের সরণ $e \propto g$ হইবে। যে স্থানে g বেশী (যেমন পৃথিবীর মেরুতে) সেখানে বস্তুর ভার বা ওজন ($=mg$) বেশী হইবে। আবার যে সব স্থানে g কম (যেমন বিষুব অঞ্চলে, ভূপৃষ্ঠের উপরে এবং নীচে) সেখানে বস্তুর ভার বা ওজন কম হইবে।

সাধারণ তুলা ও স্প্রিং-তুলার পার্থক্য : সাধারণ তুলায় m ভরের বস্তুকে বাম পাল্লায় এবং m' ভরের বাটখারাকে ডান পাল্লায় রাখিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হয়। এই অবস্থায় $mg=m'g$; অথবা $m=m'$। সুতরাং g-এর পরিবর্তন হইলেও তুলাদণ্ডের অনুভূমিক অবস্থার পরিবর্তন হইবে না। কাজেই এই তুলা দ্বারা বস্তুর ভর (m) পাওয়া যায়, কিন্তু ভারের ($=mg$) পরিবর্তন ধরা যায় না।

স্প্রিং-তুলার আংটায় m ভরের বস্তুকে ঝুলাইয়া দিলে উহার স্প্রিং-এর প্রসারণ অর্থাৎ উহার সূচকের সরণ $e \propto mg$। এখানে g-এর পরিবর্তন হইলেই সূচকের সরণের পরিবর্তন দেখা যাইবে। কাজেই এই তুলা দ্বারা বস্তুর ওজনের পরিবর্তন ধরা যায়।

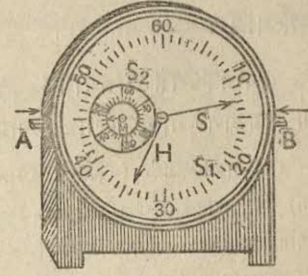
2-13. সময়ের পরিমাপ (Measurement of Time) :

সময় মাপিবার জন্য কোন না কোন ঘড়ি ব্যবহার করা হয় কিন্তু পরীক্ষাগারে সময় অপেক্ষা সময়ান্তর মাপার প্রয়োজনই হয় বেশী। এজন্য স্টপ-ঘড়ি ব্যবহার করা হয়

---

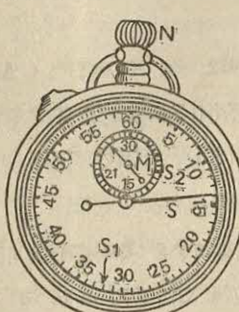
* কোন বস্তু যখন পৃথিবীর আকর্ষণ-বলের প্রভাবে উপর হইতে নীচে পড়িতে থাকে তখন উহার বেগ যে পরিমাণে ত্বরান্বিত হয় তাহাকে অভিকর্ষজাত ত্বরণ বলে, যাহা সাধারণতঃ g অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হয় [7-5 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী, বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল (যাহাকে বস্তুর ওজন বলে) = বস্তুর ভর (m) × অভিকর্ষজাত-ত্বরণ (g) $=mg$ [7-8 পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]।

যাহাকে ইচ্ছামত চালানো বা বন্ধ করা যায়। স্টপ-ঘড়ি বড় আকারের [2·8(a)নং চিত্র] হইলে তাহাকে **স্টপ-ক্লক** বলে এবং ছোট আকারের [2·8(b)নং চিত্র] হইলে তাহাকে **স্টপ-ওয়াচ** বলে। উভয় ঘড়িতেই একটি লম্বা কাঁটা (S) থাকে যাহার সরু-প্রান্ত একটি বড় বৃত্তের (S_1) পরিধির উপর অঙ্কিত 60 ঘর অতিক্রম করিতে এক মিনিট সময় লয়। এই কাঁটাকে (S) সেকেণ্ড-কাঁটা বলে। আর একটি ছোট বৃত্তের (S_2) পরিধির উপর একটি ছোট কাঁটার (M) সরু-প্রান্ত ঘোরে ; এই কাঁটাকে (M) মিনিট-কাঁটা বলে।



চিত্র 2·8(a) : ষ্টপ-ক্লক

স্টপ-ক্লককে চালাইতে বামদিকের A দণ্ডকে ঘা দিয়া ডানদিকে সরাইতে হয় আবার প্রয়োজনে থামাইতে ডানদিকের B দণ্ডকে ঘা দিয়া বামদিকে সরাইতে হয়। স্টপ-ওয়াচের মাথায় একটি বোতাম (N) থাকে যাহাকে প্রথমবার টিপিলে ঘড়ি চলিতে থাকিবে, এবং দ্বিতীয়বার টিপিলে ঘড়ি বন্ধ হইয়া যাইবে। ঘড়ি চালানোর এবং বন্ধের মধ্যের সময়ান্তর সেকেণ্ড-কাঁটার (S) এবং মিনিট-কাঁটার (M) অবস্থান হইতে পাওয়া যাইবে। স্টপ-ওয়াচের বোতাম তৃতীয় বার টিপিলে উহার দুই-কাঁটা তাহাদের পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে [অর্থাৎ সেকেণ্ড-কাঁটা (S) 60-এর ঘরে এবং মিনিট-কাঁটা (M) 30-এর ঘরে আসে। স্টপ-ওয়াচের প্রতি সেকেণ্ডের ঘরকে 5 কিংবা 10 ভাগে ভাগ করা থাকে। কাজেই এই ঘড়ি হইতে $\frac{1}{5}$ কিংবা $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময়ান্তরও মাপা যায়।



চিত্র 2·8(b) : ষ্টপ-ওয়াচ

2-14. ক্ষেত্রফল, ইহার একক ও পরিমাপ (Area, its Unit and Measurement) : কোনও তলের পরিমাপকে ঐ তলের **ক্ষেত্রফল** (area) বলে যাহা দুইটি দৈর্ঘ্যের গুণফল। কাজেই ইহার একক **লব্ধ** একক হইবে।

একক : (i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে,** ক্ষেত্রফলের এককের নাম '**বর্গ-সেন্টিমিটার**'(sq. cm.)। ইহার গুণিতক এককের নাম **বর্গ-মিটার** (sq. m.) কিংবা **বর্গ-কিলোমিটার** (sq. km.)।

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে,** ক্ষেত্রফলের এককের নাম **'বর্গ-ইঞ্চি'** (sq. inch)। ইহার গুণিতক এককের নাম, **বর্গ-গজ** (sq. yds.) কিংবা **বর্গ-মাইল** (sq. mile)।

ক্ষেত্রফলের পরিমাণ : জ্যামিতিক আকার-বিশিষ্ট কয়েকটি তলের ক্ষেত্রফল যে সূত্রগুলির সাহায্যে পাওয়া যায় তাহাদের উল্লেখ নিম্নে করা হইল।

(i) আয়তক্ষেত্র (rectangle) = দৈর্ঘ্য × প্রস্থ ; (ii) বর্গক্ষেত্র (square) = (দৈর্ঘ্য)^2 ; (iii) সামান্তরিক (parallelogram) = দুই বিপরীত সমান্তরাল বাহুর যে কোনটির দৈর্ঘ্য × উহাদের মধ্যের লম্ব-দূরত্ব ; (iv) ত্রিভুজ (triangle) = $\frac{1}{2}$ ভূমিরেখা × উচ্চতা ; (v) বৃত্ত (circle) = *π × (ব্যাসার্ধ)^2 ; (vi) গোলকের (sphere) বক্রতল = 4π (ব্যাসার্ধ)^2 ; (vii) চোঙের (cylinder) বক্রতল = 2π × ব্যাসার্ধ × উচ্চতা ; (viii) প্রিজ্‌মের পার্শ্বতল = যে কোন প্রান্তভূমির পরিসীমা (perimeter) × উচ্চতা।

* যে কোন বৃত্তের পরিধি ও ব্যাসের দৈর্ঘ্যদ্বয়ের অনুপাত একটি ধ্রুবক সংখ্যা হয় যাহা গ্রীক অক্ষর π দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। অতএব, $\pi = \frac{\text{বৃত্তের পরিধি}}{\text{ব্যাস } (2r)}$; অথবা, বৃত্তের পরিধি $2\pi r$। π-এর মান = 3·14159 অথবা প্রায় $\frac{22}{7}$।

2-15. আয়তন, ইহার একক এবং পরিমাপ (Area, its Unit and Measurement) : কোনও পদার্থের দখলীকৃত স্থানের পরিমাপকে ঐ পদার্থের **আয়তন** বলে। ইহা তিনটি দৈর্ঘ্যের গুণফল, কাজেই ইহার একক **লব্ধ একক** হইবে।

একক : (i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে,** আয়তনের একক **'ঘন-সেন্টিমিটার বা কিউবিক সেন্টিমিটার'** [সি. সি. (c.c.)]। ইহার গুণিতক এককের নাম **লিটার** (litre) = 1000 c.c.। কাজেই এক মিলিলিটার = 1 সি.সি.।

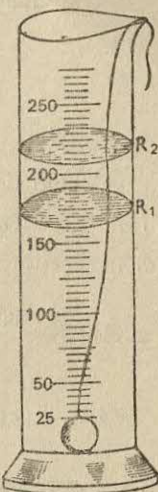
(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে,** আয়তনের একক **'ঘন-ইঞ্চি বা কিউবিক ইঞ্চি'** [cu. inch]। ইহার গুণিতক এককের নাম **ঘনফুট** (cu. ft.)। ব্যবহারিক এককের নাম **গ্যালন** যাহা 62°F উষ্ণতায় 10 পাউণ্ড জলের আয়তন। এক **গ্যালন** = 4·54 **লিটার**।

(a) **কঠিনের জ্যামিতিক আকার-বিশিষ্ট আয়তনের পরিমাপ :** কয়েকটি বস্তুর আয়তন যে সব সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায় তাহাদের উল্লেখ নিম্নে করা হইল। এইসব সূত্রে, h—উচ্চতা, l—দৈর্ঘ্য, b—প্রস্থ, r—ব্যাসার্ধ, d—ব্যাস এবং (a, b, c) ত্রিভুজের তিন বাহুর দৈর্ঘ্য বুঝাইবে।

(i) ঘনক (cube) = l^3 ; (ii) আয়তক্ষেত্রিক ঘনক (rectangular solid) = $l \times b \times h$; (iii) গোলক (sphere) = $\frac{4}{3}\pi r^3$; (iv) কউন বা শঙ্কু (cone) = $\frac{1}{3}\pi r^2 \times h$; (v) পিরামিড (pyramid) = $\frac{1}{3}$ × প্রান্তভূমির ক্ষেত্রফল × উচ্চতা (h) [পিরামিডের প্রান্তভূমি বৃত্ত হইলে তাহাকে শঙ্কু বলে]।

(vi) নিরেট চোঙ (solid cylinder) = $(\pi d^2/4) \times h$ [d = প্রান্তভূমির ব্যাস]। (vii) ফাঁপা চোঙ (hollow cylinder) = $(\pi/4)(d_2^2 - d_1^2) \times h$; (viii) প্রিজ্‌ম (prism) = প্রধান ছেদের ক্ষেত্রফল × উচ্চতা [প্রধান ছেদ ত্রিভুজ হইলে তাহার ক্ষেত্রফল = $[s(s-a)(s-b)(s-c)]^{\frac{1}{2}}$; এখানে $s = (a+b+c)/2$]।

(*b*) **অনিয়মিত আকারের কঠিনের আয়তন নির্ণয় :** (i) **তরল অপসারণ পদ্ধতি দ্বারা.**—এই পদ্ধতিতে একটি আয়তন-মাপক চোঙে কিছু পরিমাণ তরল লওয়া হয় যে তরলে কঠিনটি ডুবিয়া থাকিবে, দ্রবীভূত হইবে না কিংবা উহাদের মধ্যে কোন রাসায়নিক ক্রিয়া হইবে না। তরলের উপরিতলের পাঠ (R_1) চোঙের গায়ের স্কেল হইতে পড়িয়া লওয়া হইল [2·9নং চিত্র]। এইবার কঠিনকে চোঙের তরলের মধ্যে ডুবাইয়া দিলে উহা উহার সম-আয়তন তরলকে অপসারণ করিবে যাহার ফলে তরলের উপরিতল উপরে উঠিয়া স্কেলের R_2 দাগকে স্পর্শ করিবে। কাজেই অপসারিত তরলের আয়তন = $(R_2 \sim R_1)$ সি. সি = বস্তুর আয়তন।



চিত্র 2·9 : আয়তন-মাপক চোঙ

(ii) **আর্কিমিডিসের প্রয়োগ দ্বারা.**—
[9-7(a) পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য]

(iii) **বস্তুর ওজন দ্বারা.**—যদি বস্তুর ওজন m গ্রাম হয় এবং উহার ঘনত্ব ρ গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে জানা থাকে তাহা হইলে উহার আয়তন $v = m/\rho$ সি. সি.।

2-16. কোণের একক ও উহার পরিমাপ (Units of Angle and its Measurement) :

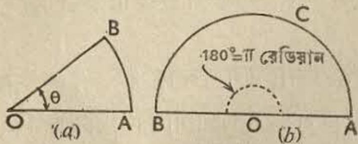
(*a*) **কোণের একক :** কোণ মাপিবার জন্য যে দুই প্রকার একক প্রচলিত আছে তাহাদের নাম (i) **ডিগ্রী** (degree) ও তাহার ভগ্নাংশ এবং (ii) **রেডিয়ান** (radian)।

(i) এক সমকোণের সমান 90 ভাগের এক ভাগের নাম **ডিগ্রী**। ইহার ভগ্নাংশ এককের নাম **মিনিট** এবং **সেকেণ্ড**। সুতরাং

1° (ডিগ্রী) = $60'$ (মিনিট) = $(60 \times 60)''$ = $3600''$ (সেকেণ্ড)।

(ii) যে কোন বৃত্তের ব্যাসার্ধের সমান দৈর্ঘ্যের বৃত্তচাপ, বৃত্তের কেন্দ্রে যে কোণ উৎপন্ন করে তাহাকে এক **রেডিয়ান** (radian) ধরা হয় যাহা প্রায় $57^\circ\ 18'$-এর সমান। যদি $\angle AOB$ কোণকে রেডিয়ানে মাপিবার প্রয়োজন হয় [2·10(*a*)নং চিত্র]

তাহা হইলে কোণের শীর্ষবিন্দু O-কে কেন্দ্র করিয়া এবং যে কোন দৈর্ঘ্যকে (ধরা যাক্ OA) ব্যাসার্ধ লইয়া একটি বৃত্তচাপ অঙ্কিত করিলে উহার যে অংশ (AB অংশ) কোণের মধ্যে থাকিবে সেই বৃত্তচাপ (AB) এবং বৃত্তের ব্যাসার্ধের (OA-এর) অনুপাত ঐ কোণের মাপ রেডিয়ানে হইবে।



চিত্র 2·10 :

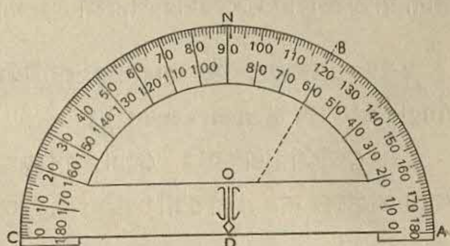
$$\text{অতএব, } \theta = \frac{AB}{OA} \text{ রেডিয়ান।}$$

(iii) **ডিগ্রী ও রেডিয়ানের সম্বন্ধ**—2·10(b) নং চিত্রে একটি অর্ধবৃত্ত ($ACBOA$) দেখান হইয়াছে যাহার কেন্দ্র O এবং ব্যাসার্ধ $OA=r$। এই অর্ধবৃত্তের চাপের দৈর্ঘ্য=বৃত্তের পরিধি/2 $= 2\pi r/2 = \pi r$। অতএব $\angle AOB$ কোণের মাপ ডিগ্রিতে হইবে দুই সমকোণ $=180^\circ$ কিন্তু রেডিয়ানে ঐ কোণের মাপ হইবে,

$$\angle AOB = \frac{\text{অর্ধবৃত্তের চাপ}}{\text{ব্যাসার্ধ}} = \frac{\pi r}{r} \text{ রেডিয়ান} = 3·14159 \text{ রেডিয়ান} = 180^\circ।$$

$$\text{সুতরাং, } \pi \text{ রেডিয়ান} = 180^\circ \text{ এবং এক রেডিয়ান} = \frac{180}{3·14159} = 57^\circ\ 18' \text{ (প্রায়)।}$$

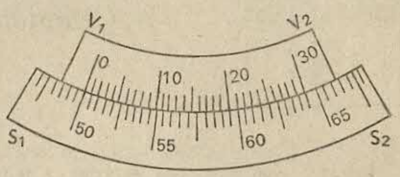
(b) **কোণের পরিমাপ** : (i) পরিমেয় কোণ যখন 1° কিংবা তাহার উপরে থাকে তখন সেই কোণ **চাঁদা বা প্রোট্র্যাকটরের** (protractor) সাহায্যে মাপা যায় (2·11নং চিত্র)। ইহাতে অর্ধবৃত্তাকার একটি পাতলা ধাতব বা গাটাপার্চের পাত থাকে যাহার কেন্দ্রে (D) একটি তীরচিহ্ন থাকে এবং পরিধির (ANC) উপর (0° – 180°) দুইটি স্কেল থাকে যাহার এক ঘর 1°।



চিত্র 2·11 : চাঁদা

মনে কর, $\angle ADB$ কোণ মাপিতে হইবে। এই কোণের শীর্ষবিন্দুর উপর চাঁদার কেন্দ্রকে (D) বসাইয়া যদি কোণের এক বাহুর (DA) সহিত চাঁদার ব্যাসার্ধকে (DA) মিলাইয়া রাখা হয় তাহা হইলে কোণের অপর বাহু (DB) স্কেলের যে দাগকে স্পর্শ করিবে তাহার পাঠই কোণের পরিমাপ হইবে [2·11নং চিত্রে এই পাঠ 60° দেখান হইয়াছে]।

(*ii*) যখন কোণের পরিমাপ 1°-এর কম তখন **কৌণিক ভার্নিয়ার** ব্যবহৃত হয় (2·12 নং চিত্র দেখ)। এখানে মূল স্কেল (S_1S_2) এবং উহার পাশের সঞ্চরণশীল ভার্নিয়ার স্কেল (V_1 V_2), উভয়েই বৃত্তাকার ও সমকেন্দ্রিক। ভার্নিয়ারের নীতি অনুযায়ী [2-7(*b*) পরিচ্ছেদ দ্রষ্টব্য] যদি মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘরের মান s° হয় এবং ভার্নিয়ারের ঘর-সংখ্যা n থাকে তাহা হইলে যে ক্ষুদ্রতম কোণ এই পদ্ধতিতে মাপা যাইবে তাহার মান হইবে $(s/n)^\circ$। [যদি মূল স্কেলের ক্ষুদ্রতম ঘর $(1/2)^\circ$ হয় এবং ভার্নিয়ারে 30 ঘর থাকে তাহা হইলে এই ভার্নিয়ারের সাহায্যে যে ক্ষুদ্রতম কোণ মাপা যাইবে তাহার পরিমাণ হইবে $(\frac{1}{2\times30})^\circ = 1'$ (মিনিট)।]



চিত্র 2·12 : কৌণিক ভার্নিয়ার

অধ্যায় 3

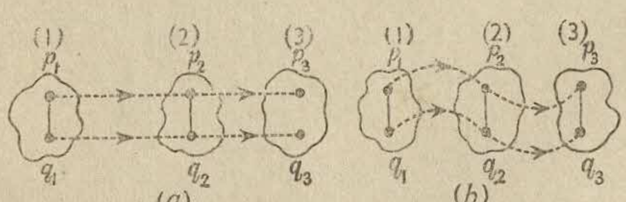
গতি ও গতিসংক্রান্ত বিষয়

(Motion and matters relating to motion]

3-1. স্থিতি ও গতি (Rest and Motion) : কোন বস্তুর গতি কিংবা স্থিতি যাহাই দেখি না কেন তাহা আপেক্ষিক বা তুলনামূলক মাত্র। চরম গতি বা স্থিতি কোন বস্তুরই নাই। চলন্ত রেলগাড়ীর মধ্যে কোন লোক থাকিলে সে গাড়ীর মধ্যস্থ আসবাবপত্রের তুলনায় স্থির কিন্তু বাহিরের গাছপালার তুলনায় গতিশীল। আবার আমাদের বাড়ী এবং সামনের গাছ প্রভৃতি পৃথিবীর সঙ্গে সঙ্গে ঘোরে, এজন্য গাছ এবং বাড়ীর মধ্যে কোন আপেক্ষিক গতি না থাকায় উহাদিগকে স্থির বলিয়া মনে হয়। কাজেই বলা যাইতে পারে যে, পারিপার্শ্বিক বস্তুর তুলনায় যদি কোন বস্তুর সময়ের সহিত স্থান পরিবর্তন হয়, তাহা হইলে ঐ বস্তুকে **গতিশীল** বলা হয় আর যদি সময়ের সঙ্গে ঐ বস্তুর স্থান পরিবর্তন না হয় তাহা হইলে তাহাকে **স্থিতিশীল** বলা হয়।

(a) **বিভিন্ন প্রকার গতি** (Different types of motion) : (1) চলন-গতি (translatory motion) এবং (2) ঘূর্ণন-গতি (rotatory motion)।

(1) **চলন গতি :** বস্তুর গতি যদি এমনভাবে হয় যে উহার মধ্যস্থ দুই বিন্দুর (p ও q) সংযোজক সরলরেখা (pq) বস্তুর সব অবস্থানে (1, 2, 3 প্রভৃতি অবস্থানে) পরস্পর সমান্তরাল থাকে (অর্থাৎ p_1q_1, p_2q_2. p_3q_3., পরস্পর সমান্তরাল থাকে) তাহা হইলে বস্তুর ঐ গতিকে **চলনগতি** বলে [3·1(a) ও 3·1(b) নং চিত্রদ্বয়]।

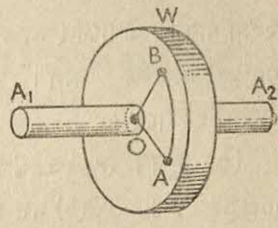


চিত্র 3·1 : চলন গতি

কিন্তু বস্তুর গতির সময় যদি উহার প্রত্যেকটি বিন্দু (যথা p কিংবা q বিন্দু) সরলরেখা ধরিয়া চলে ($p_1p_2p_3$ কিংবা $q_1q_2q_3$ সরলরেখা) তাহা হইলে ঐ গতিকে **সরলরৈখিক-গতি** (rectilinear motion) বলে [3·1(a) নং চিত্র]।

আর যদি বস্তুর গতির সময় উহার প্রত্যেকটি বিন্দু (যথা, p কিংবা q বিন্দু) বক্ররেখা ধরিয়া চলে ($p_1p_2p_3$ একটি বক্ররেখা এবং $q_1q_2q_3$ অপর-একটি বক্ররেখা) তাহা হইলে ঐ গতিকে **বক্ররৈখিক-গতি** (curvilinear motion) বলে [3·1(b) নং চিত্র]।

(2) **ঘূর্ণন-গতি** (Rotatory motion) : কোন ঘূর্ণমান বস্তুর যে কোন একটি বিন্দু, যদি বস্তুর ঘূর্ণন-অক্ষের চারিদিকে এমনভাবে ঘোরে যাহাতে অক্ষদণ্ডের একটি বিন্দু হইতে উহার দূরত্ব সব সময়ে একই থাকে তাহা হইলে ঐ বিন্দুর গতিকে **ঘূর্ণন-গতি** বলে (3·2 নং চিত্র)।



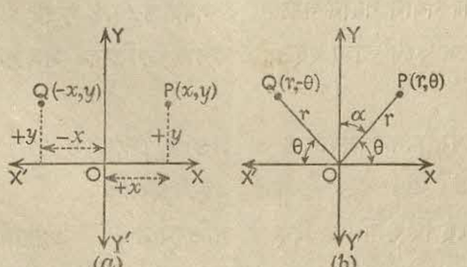
চিত্র 3·2 : ঘূর্ণন গতি

3·2 নং চিত্রে, W একটি ঘূর্ণমান বস্তু যাহা A_1A_2 দণ্ডকে অক্ষরেখা করিয়া ঘুরিতেছে। এই ঘূর্ণমান বস্তুর A বিন্দু, বস্তুর ঘূর্ণন-অক্ষরেখার O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতেছে, যে বৃত্তের ব্যাসার্ধ হইবে OA কিংবা OB। t সেকেণ্ডে যদি বস্তুর বিন্দুটি A হইতে B-তে যায় তাহা হইলে এক সেকেণ্ডে বিন্দুর অতিক্রান্ত পথ $= AB/t$ এবং অতিক্রান্ত কোণ $= (\angle AOB/t)$।

(3) **জটিল বা মিশ্র গতি** : কোন বস্তুর গতি যদি চলন-গতি এবং ঘূর্ণন গতির সমন্বয়ে হয় তাহা হইলে ঐ গতিকে **জটিল বা মিশ্র গতি** বলে। প্রমাণ করা যায় যে, কোন জটিল গতি চলন ও ঘূর্ণন গতির সমবায়ে গঠিত।

3-2. সমতলে কোন বিন্দুর স্থান-নির্দেশক কাঠামো (Reference frame of a point on a plane) :

সমতলে কোন বিন্দুর অবস্থান নির্দিষ্ট করিবার বিভিন্ন প্রকার পদ্ধতি আছে। ইহাদের মধ্যে সর্বাপেক্ষা প্রচলিত পদ্ধতিতে, সমতলে একটি নির্দিষ্ট বিন্দু (O) লওয়া হয় [যাহাকে মূলবিন্দু (origin) বলে] এবং তাহার মধ্য দিয়া দুইটি পরস্পর লম্ব-সরলরেখা [(XOX') এবং (YOY')] টানা হয়। অনুভূমিক সরল-রেখা XOX'-কে x-অক্ষ এবং উল্লম্ব সরলরেখা YOY'-কে y-অক্ষ বলে। O হইতে OX-এর দিকে মাপা



চিত্র 3·3 : স্থান-নির্দেশক কাঠামো

দূরত্বকে ধনাত্মক x $(+x)$ এবং OX'-এর দিকে মাপা দূরত্বকে ঋণাত্মক x $(-x)$ ধরা হয়। [3·3(*a*) নং চিত্র]। আবার O হইতে OY-এর দিকে মাপা দূরত্বকে ধনাত্মক y $(+y)$ এবং OY'-এর দিকে মাপা দূরত্বকে ঋণাত্মক y $(-y)$ ধরা হয়। নিম্নলিখিত উপায় অবলম্বন করিয়া কোন বিন্দুর অবস্থান নির্দেশ করা যায়।

(a) **ভুজ** (x) **ও কোটি** (y) **পদ্ধতি** [abscissa (x) and ordinate (y) method]ঃ 3·3(*a*) নং চিত্রে, P একটি বিন্দু যাহার দূরত্ব x-অক্ষ হইতে $+y$ এবং y-অক্ষ হইতে $+x$। x ও y-এর মান জানা থাকিলে বিন্দুটির অবস্থান নির্দিষ্ট হইয়া যায়। এখানে (x, y)-কে P বিন্দুর **কার্টেসিয়ান স্থানাঙ্ক** (cartesian co-ordinates) বলে। আবার 3·3(*a*) নং চিত্রে Q বিন্দুর স্থানাঙ্ক $(-x, y)$ দেখান হইয়াছে।

(b) **দূরত্ব** (r) **ও কোণ** (θ) **পদ্ধতি** [distance (r) and angle (θ) method]ঃ 3·3(*b*) নং চিত্রে P বিন্দুর অবস্থান স্থির করিতে একটি নির্দিষ্ট বিন্দু (O) এবং একটি নির্দিষ্ট সরলরেখা XOX' (কিংবা YOY') হইলেই চলে। নির্দিষ্ট বিন্দু (O) হইতে P বিন্দুর দূরত্ব r এবং ঐ দূরত্ব নির্দিষ্ট সরলরেখার XOX' (কিংবা YOY') সহিত যে কোণ θ (কিংবা α) করিয়া আছে তাহা জানা হইলেই P বিন্দুর অবস্থান নির্দিষ্ট হইবে। এখানে (r, θ)-কে P বিন্দুর **পোলার স্থানাঙ্ক** (polar co-ordinates) বলে। আবার 3·3(*b*) নং চিত্রে Q বিন্দুর স্থানাঙ্ক হইবে $(r, -\theta)$।

[**দ্রষ্টব্য** ঃ P বিন্দু যদি কোন সমতলে না থাকিয়া শূন্যে থাকে তাহা হইলে কার্টেসিয়ান স্থানাঙ্ক দ্বারা উহার অবস্থান নির্দেশ করিতে মূল বিন্দুর (O) মধ্য দিয়া, পরস্পর সমকোণে অবস্থিত, তিনটি অক্ষের প্রয়োজন হয় যাহারা XOX', YOY' এবং ZOZ'। এখানে P বিন্দুর স্থানাঙ্ক হইবে (x, y, z)।]

3-3. গতি-সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা ঃ

(a) **দ্রুতি** (speed) ঃ (i)—কোন গতিশীল কণার, সময়ের সহিত উহার অতিক্রান্ত পথের (সরল বা বক্র পথের), পরিবর্তন-হারকে ঐ কণার **দ্রুতি** বলে।

(ii) কোন গতিশীল কণা যদি সমান সমান সময়ে (ঐ সময়ান্তর যত ক্ষুদ্রই হউক না কেন) সমান সমান পথ অতিক্রম করে তাহা হইলে ঐ কণার দ্রুতিকে **সমদ্রুতি** (uniform speed) বলে।

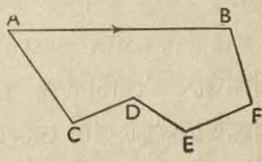
(iii) যদি কোন গতিশীল কণা, অসম দ্রুতিতে s রাস্তা t সেকেণ্ডে অতিক্রম করে তাহা হইলে কণার **গড়দ্রুতি** (average speed) হইবে s/t।

দ্রুতির শুধুমাত্র পরিমাণ আছে কিন্তু নির্দিষ্ট দিক্ বা অভিমুখ নাই। এজন্য ইহা একটা স্কেলার রাশি। কোন রেলগাড়ীর দ্রুতি 'ঘণ্টায় 30 মাইল' বলিলে বুঝিতে হইবে যে, রেলগাড়ীটি যে কোন দিকেই যাক্ না কেন উহা এক ঘণ্টায় 30 মাইল রাস্তা যায়। এখানে গতিশীল বস্তুর গতির অভিমুখের উল্লেখ প্রয়োজন হয় না।

দ্রুতির একক—(i) সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে, সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ডে এবং (ii) এফ্. পি. এস. পদ্ধতিতে ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

(b) **সরণ** (displacement) ঃ কোন গতিশীল কণার গতিপথ সরল কিংবা বক্ররেখা যাহাই হউক না কেন, উহার প্রথম এবং শেষ অবস্থান একটি সরলরেখা দ্বারা যুক্ত করিলে ঐ সংযোজক সরলরেখার দৈর্ঘ্য হইবে সরণের পরিমাণ এবং ঐ সরলরেখার প্রথম বিন্দু হইতে শেষ বিন্দুর দিকে যে দিক্ নির্দেশিত হইবে তাহাই সরণের অভিমুখ হইবে। সরণের পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই থাকায় উহা একটি ভেক্টর রাশি হইবে।

মনে কর, কোন কণা A বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া একটি আঁকা-বাঁকা পথে ($ACDEFB$) অতিক্রম করিয়া B বিন্দুতে পৌঁছিল [3·4 নং চিত্র]। এখানে কণার সরণ হইবে A ও B বিন্দুদ্বয়ের সংযোগ সরলরেখার (AB-এর) দৈর্ঘ্য যদিও উহার প্রকৃত অতিক্রান্ত পথ ($ACDEFB$) AB অপেক্ষা বেশী। কণা A হইতে B-এর দিকে যাইতেছে বলিয়া উহার সরণের অভিমুখ হইবে A হইতে B ($A \rightarrow B$), যাহা AB সরলরেখার উপর একটি তীরচিহ্ন আঁকিয়া দেখান হইয়াছে।



চিত্র 3·4 ঃ পথ ও সরণ

(c) **বেগ** (velocity) ঃ (i) কোন গতিশীল কণার, সময়ের সহিত উহার সরণের পরিবর্তন-হারকে ঐ কণার **বেগ** বলে।

(ii) কোন গতিশীল কণার, সমান সমান সময়ে (সে সময়ান্তর যত ক্ষুদ্রই হউক না কেন) সমান সমান সরণ হইলে ঐ কণার বেগকে **সমবেগ** (uniform velocity) বলে। অন্যথা কণার বেগকে **অসম-বেগ** (non-uniform velocity) বলে।

অসমবেগে চলনশীল কোন কণার, যদি t সেকেণ্ডে সরণ হয় s তাহা হইলে ঐ কণার **গড়বেগ** (average velocity) হইবে s/t।

যেহেতু সরণের পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই আছে, অর্থাৎ সরণ একটি ভেক্টর রাশি, সেইহেতু বেগও একটি ভেক্টর রাশি হইবে ; কারণ বেগ, সময়ের সহিত কণার সরণের পরিবর্তন-হার। যদি বলা হয় যে একটি মোটর গাড়ী 'পশ্চিম দিকে ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে যাইতেছে' তাহা হইলে এই উক্তির দ্বারা মোটর গাড়ীর বেগ নির্দেশিত হইল। কারণ ঐ উক্তিতে গাড়ীর গতির পরিমাণ (যাহা ঘণ্টায় 30 মাইল) এবং অভিমুখ (যাহা পশ্চিম দিক) দুইই নির্দেশিত হইতেছে।

বেগের একক—বেগের পরিমাণের একক দ্রুতির এককের অনুরূপ হইবে, উপরন্তু কণার বেগের পরিমাণের সহিত উহার গতির নির্দিষ্ট দিকেরও উল্লেখ করিতে হয়।

দ্রুতি ও বেগের পার্থক্য : (i) দ্রুতির শুধু পরিমাণই আছে কিন্তু কোন অভিমুখ নাই অথচ বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই আছে। (ii) কণার প্রকৃত অতিক্রান্ত পথের পরিবর্তন-হারকে দ্রুতি বলে কিন্তু কণার সরণের (যাহা অতিক্রান্ত পথের সমান কিংবা কম হইতে পারে) পরিবর্তন-হারকে বেগ বলে।

(d) **ত্বরণ ও মন্দন** (acceleration and retardation) : (i) কোন গতিশীল কণার বেগ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিলে, ঐ ক্রম-বর্ধমান বেগের বৃদ্ধির হারকে কণার **ত্বরণ** বলে। (ii) সেইরূপ কোন গতিশীল কণার বেগ ক্রমশঃ কমিতে থাকিলে, ঐ ক্রম-হ্রাসমান বেগের হ্রাসের হারকে কণার **মন্দন** বলে। বেগ একটি ভেক্টর রাশি এবং যেহেতু বেগের পরিবর্তন-হারই ত্বরণ কিংবা মন্দন, সেই হেতু ত্বরণ কিংবা মন্দন ভেক্টর রাশি হইবে।

একক.—ত্বরণ এবং মন্দন একই একক দ্বারা মাপা হয়, যাহা **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে** 'সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি সেকেণ্ডে' এবং **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে** 'ফুট প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি সেকেণ্ডে'। ইহাদের এককে সময় দুইবার আসিল কেন তাহা নিম্নলিখিতভাবে স্থির করা যায়।

$$\text{ত্বরণ বা মন্দনের একক} = \frac{(\text{বেগ})\text{-এর পরিবর্তন}}{\text{সময়}}\;;\; \text{কিন্তু বেগ} = \frac{\text{সরণ}}{\text{সময়}}\;;\; \text{অতএব,}$$

$$\textbf{ত্বরণ বা মন্দনের একক} = \frac{(\text{সরণ / সময়})\text{-এর পরিবর্তন}}{\text{সময়}} = \frac{\text{সরণের পরিবর্তন}}{\text{সময়} \times \text{সময়}}.$$

কাজেই ত্বরণ কিংবা মন্দনের এককের ভগ্নাংশের হরে, সময় দুইবার আসায় 'প্রতি সেকেণ্ডে' কথাটিও দুইবার আসিতেছে। একবার বেগ বুঝাইবার জন্য সময় আসিবে আর একবার বেগের পরিবর্তনের হার বুঝাইবার জন্য সময় আসিবে।

উদাহরণ.—কোন স্থির বস্তু যখন উপর হইতে নীচের দিকে নামে তখন উহার বেগ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে। পৃথিবী বস্তুটিকে আকর্ষণ করে বলিয়াই বস্তুটি ত্বরান্বিত বেগে নীচের দিকে নামে। এইজন্যই পতনশীল বস্তুর ত্বরণকে 'অভিকর্ষজাত ত্বরণ' বলে, যাহা সাধারণতঃ 'g' অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। এইরূপ পতনশীল বস্তুর ক্ষেত্রে দেখা যায় যে, প্রথম সেকেণ্ডের শেষে বস্তুটির বেগ 32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে হয় এবং দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি সেকেণ্ডের শেষে উহার বেগ যথাক্রমে 64 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে, 96 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে প্রভৃতি হয়। অতএব বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ থাকায় বস্তুর বেগ প্রতি সেকেণ্ডে '32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে' করিয়া বাড়ে ; কাজেই অভিকর্ষজাত ত্বরণ '32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে' হইবে।

অনুরূপ ভাবে কোন বস্তুকে যদি নির্দিষ্ট বেগে উল্লম্ব উপরের দিকে নিক্ষেপ করা হয় তাহা হইলে উহার বেগ ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে এবং প্রতি সেকেণ্ডে

এই বেগের হ্রাসের পরিমাণ হইবে 32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। পৃথিবী বস্তুটিকে নীচের দিকে আকর্ষণ করিতেছে বলিয়াই নিক্ষিপ্ত বস্তুর বেগের মন্দন হইতেছে। কাজেই অভিকর্ষজাত মন্দন হইবে '32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে'। মন্দনকে ঋণাত্মক ত্বরণও বলা হয়। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g=980$ সেন্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি সেকেণ্ডে, অর্থাৎ সংক্ষেপে 980 $cm./sec.^2$।

অভিকর্ষের জন্য কোন বস্তুর বেগের বৃদ্ধি বা হ্রাস প্রতি সেকেণ্ডে একই পরিমাণ (অর্থাৎ 32 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে) দ্বারা হইতেছে, এইজন্য অভিকর্ষজাত ত্বরণকে **সম-ত্বরণ** (uniform acceleration) বলে। আবার কোন বস্তুর বেগ-বৃদ্ধি যদি বিভিন্ন সেকেণ্ডে বিভিন্ন পরিমাণে হয় তাহা হইলে সেই ত্বরণকে **অসম-ত্বরণ** (non-uniform acceleration) বলে। যথা,—যদি কোন বস্তুর প্রথম সেকেণ্ডে **বেগের বৃদ্ধি** 2 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে হয়, দ্বিতীয় সেকেণ্ডে **বেগের বৃদ্ধি** 3 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে হয়, এবং তৃতীয় সেকেণ্ডে **বেগের বৃদ্ধি** 4 ফুট প্রতি সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে বস্তুর ঐরূপ ত্বরণকে **অসম-ত্বরণ** বলে।

(*e*) **ভরবেগ** (momentum): কোন বস্তুর ভর (m) ও উহার বেগের (v) গুণফলকে ঐ বস্তুর **ভরবেগ** বলে। নিউটনের মতে, কোন বস্তুর ভরবেগ হইবে ঐ বস্তুর গতির পরিমাণের মাপ, যাহা নিম্নের উদাহরণ হইতে স্পষ্ট বোঝা যাইবে।

উদাহরণ—একটি যাত্রীবাহী রেলগাড়ী এবং একটি মালগাড়ী যদি একই বেগে (ধরা যাক্, ঘণ্টায় 30 মাইল) চলে তাহা হইলে যাত্রীগাড়ীকে থামাইতে যে বল প্রয়োগ করিতে হইবে তাহা অপেক্ষা অনেক বেশী বলপ্রয়োগ দ্বারা মালগাড়ীকে থামানো যাইবে। কারণ মালগাড়ীর ভর যাত্রীগাড়ীর ভর অপেক্ষা অনেক বেশী, কাজেই ইহার ভরবেগ (ভর × বেগ) যাত্রীগাড়ীর ভরবেগ অপেক্ষা বেশী হইবে। এই দুইটি গাড়ীর যদি মুখোমুখী সংঘর্ষ ঘটে তাহা হইলে মালগাড়ী অপেক্ষা যাত্রীগাড়ীর অনেক বেশী ক্ষতি হয়। আবার একটি ভারী এবং একটি হাল্কা বস্তুর উপর একই বল প্রয়োগ করিলে নির্দিষ্ট সময়ের পর হাল্কা বস্তুর বেগ, ভারী বস্তুর বেগ অপেক্ষা বেশী হইবে অর্থাৎ ভরবেগের ভর কম হইলে, বেগ বেশী হইবে। অতএব গতিশীল বস্তুর গতির পরিমাণ বস্তুর ভর এবং বেগের গুণফল দ্বারাই স্থিরীকৃত হয় যাহাকে **ভরবেগ** বলা হয়। যদি 100 গ্রাম বস্তুর ভরবেগ 2000 হয় তাহা হইলে উহার বেগ 20 cm. প্রতি সেকেণ্ডে হইতেছে বুঝিতে হইবে।

একক—**সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে** ভরবেগের একক হইবে, (গ্রাম-সে.মি./সেকেণ্ড) এবং **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে** উহার একক হইবে, (পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড)। সংক্ষেপে ঐ এককগুলিকে লেখা হয় (gm. – cm./sec.) [c. g. s. পদ্ধতিতে] এবং (lb – ft./sec.) [f. p. s. পদ্ধতিতে]।

3-4. ঋজুগতি-সংক্রান্ত কয়েকটি সমীকরণের গাণিতিক প্রমাণ (To establish equations of rectilinear motions mathematically) :

(a) **$v=u+ft$ সমীকরণের প্রমাণ :** মনে করা যাক্, কোন কণা সমত্বরণে ($=f$) একটি সরলরেখা ধরিয়া চলিতেছে। যদি t সেকেণ্ড সময়ের প্রারম্ভে এবং শেষে কণার বেগ যথাক্রমে u ও v হয় তাহা হইলে এক সেকেণ্ডে কণার বেগ-বৃদ্ধি $=(v-u)/t=$ সমত্বরণ $=f$। অতএব, $v=u+ft$ ... (3-4a)

অনুসিদ্ধান্ত. যদি কণা স্থির অবস্থা হইতে যাত্রা করে তাহা হইলে $u=0$। এক্ষেত্রে কণার অন্তিম বেগ $=v=ft$ ... (3-4a')

(b) **$s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণের প্রমাণ :** মনে করা যাক্, কোন কণা, প্রারম্ভিক বেগ u লইয়া সমত্বরণে (f) সরলরেখা ধরিয়া চলিতেছে এবং t সেকেণ্ডে ঐ কণা s রাস্তা অতিক্রম করিল। যদি $t/2$ সেকেণ্ডের শেষে কণার বেগ V হয় তাহা হইলে (3-4a) সমীকরণ হইতে আমরা পাই $V=u+ft/2$ ··· (3-4b)

মনে করা যাক্, δ একটি ক্ষুদ্রতম সময়ান্তর যাহার n গুণ সময় হইবে $t/2$। অর্থাৎ $n\delta=t/2$। কণাটি সমত্বরণে ($=f$) চলিতেছে বলিয়া প্রত্যেক δ সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগ-বৃদ্ধি (অথবা বেগ-হ্রাস) $f\delta$ হইবে। অতএব, $(t/2-\delta)$ সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগ হইবে $v_1=(V-f\delta)$ এবং $(t/2+\delta)$ সেকেণ্ড সময়ে উহার বেগ হইবে $v'_1=(V+f\delta)$। কাজেই এই 2δ সময়ের মধ্যে কণার গড় বেগ হইবে $\frac{(v_1+v'_1)}{2}=\frac{(V-f\delta)+(V+f\delta)}{2}=V=t/2$ সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগ।

অনুরূপভাবে, $(t/2-2\delta)$ সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগ হইবে $v_2=(V-2\delta f)$ এবং $(t/2+2\delta)$ সেকেণ্ড সময়ে উহার বেগ হইবে $v'_2=(V+2\delta f)$। কাজেই এই 4δ সময়ের মধ্যে কণার গড়বেগ হইবে $\frac{v_2+v_2}{2}=\frac{(V-2\delta)+(V+2\delta)}{2}=V$।

এইভাবে যদি $t/2$ সেকেণ্ডের আগে এবং পরে এইরূপ জোড়া জোড়া মুহূর্ত লওয়া হয় তাহা হইলে প্রত্যেক যুগ্ম মুহূর্তের মধ্যে কণার গড় বেগ V-ই থাকিবে। অতএব, $(t/2-n\delta)$ সময়ে কণার বেগ হইবে $v_n=(V-n\delta f)$ এবং $(t/2+n\delta)$ সময়ে উহার বেগ হইবে $v'_n=(v+n\delta f)$। কাজেই $2n\delta$ $(=2\times t/2=t)$ সময়ের মধ্যে কণার গড়বেগ হইবে $\frac{v_n+v_n'}{2}=\frac{(V-n\delta f)+(V+n\delta f)}{2}=V$।

কিন্তু t সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ $=s=$(t সেকেণ্ডের মধ্যে কণার গড়বেগ) $\times$ সময় t। অতএব, $s=Vt=(u+ft/2)t=ut+\frac{1}{2}ft^2$ ... (3-4c)

অনুসিদ্ধান্ত 1. কণা যদি t সেকেণ্ডের জন্য সমবেগ u-তে চলে, অর্থাৎ উহার ত্বরণ $f=0$, তাহা হইলে t সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ হইবে, $s_1=ut \cdots$(3-4d)।

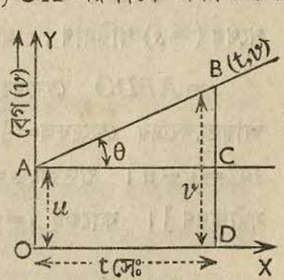
অনুসিদ্ধান্ত 2. কণার প্রারম্ভিক বেগ যদি শূন্য হয় (অর্থাৎ, $u=0$) কিন্তু সমত্বরণে ($=f$) সরলরেখা ধরিয়া চলে তাহা হইলে t সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ হইবে $s_2=\frac{1}{2}ft^2$ ।...আবার যদি কণার ত্বরণ না হইয়া মন্দন হয় তাহা হইলে f-এর পূর্বে বিয়োগচিহ্ন লইতে হইবে।

(c) $v^2=u^2+2fs$, **সমীকরণের প্রমাণ ঃ** আমরা (3-4a) সমীকরণ হইতে জানি যে, $v=u+ft$। অতএব, $v^2=u^2+f^2t^2+2uft=u^2+2f(ut+\frac{1}{2}ft^2)$ অথবা, $v^2=u^2+2fs$ [3-4(c) সমীকরণ হইতে]··· ··· (3-4e)

(d) **n-তম সেকেণ্ডে, কণার অতিক্রান্ত পথের পরিমাণ নির্ণয় ঃ**—মনে করা যাক্, কোন কণা, প্রারম্ভিক বেগ u লইয়া সমত্বরণে ($=f$) সরলরেখা ধরিয়া চলিতেছে। n-তম সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ (s_n)=(উহার n সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ)$-$[($n-1$) সেকেণ্ড অতিক্রান্ত পথ]। অথবা, $s_n=(un+\frac{1}{2}fn^2)-[u(n-1)+\frac{1}{2}f(n-1)^2]$ অথবা, $s_n=u+f(n-\frac{1}{2})$ ··· ···(3-4f)

3-5. লেখচিত্রের সাহায্যে, ঋজুগতি সংক্রান্ত দুইটি সমীকরণের প্রমাণ ঃ

3.5 (a) ও 3.5 (b) চিত্রদ্বয়ে, অনুভূমিক সরলরেখা OX এবং তাহার লম্ব সরলরেখা OY-কে লেখচিত্রের দুইটি অক্ষ লওয়া হইয়াছে যাহার মূলবিন্দু O-এর স্থানাঙ্ক (0, 0)। সমত্বরণে গতিশীল কণার বেগ (v) OY-এর দিকে প্রকাশ করা হইয়াছে এবং যে সময়ে ঐ বেগ হইয়াছে সেই সময় (t) OX-এর দিকে প্রকাশ করা হইয়াছে। কণার ঋজুগতি সমত্বরণে হওয়ায় উহার বেগ (v) সময়ের (t) সমানুপাতে পরিবর্তিত হইবে। কাজেই (v—t) লেখচিত্র একটি সরলরেখা (AB) হইবে যাহা y-অক্ষকে A বিন্দুতে ছেদ করিবে এবং x-অক্ষের সঙ্গে θ কোণ উৎপন্ন করিবে [3.5 (a) ও 3.5 (b) চিত্রদ্বয় দেখ]। A বিন্দু হইতে যদি OX-এর সমান্তরাল করিয়া AC সরলরেখা টানা হয় তাহা হইলে $\angle BAC=\theta$। যখন সময় $t=0$,



চিত্র 3.5(a) ঃ

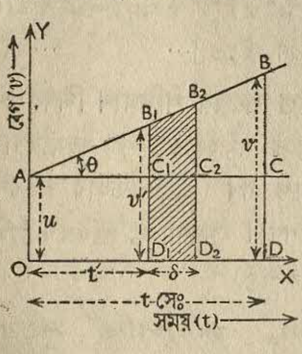
তখন কণার যে প্রাথমিক বেগ থাকিবে তাহার মান হইবে $u=OA=CD$। AB সরলরেখার উপর যে-কোন বিন্দু (B) লওয়া হইলে [যাহার স্থানাঙ্ক (t, v)] ঐ বিন্দুর ভুজ $OD=t$ সেকেণ্ড এবং কোটি$=BD=v=t$ সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগ হইবে।

(*a*) **$v=u+ft$ সমীকরণের প্রমাণ** : 3.5 (*a*) নং চিত্র হইতে লেখা যায়,

$\tan\theta=\frac{BC}{AC}=\frac{BD-CD}{OD}=\frac{v-u}{t}$ = এক সেকেণ্ডে কণার বেগ-বৃদ্ধি। কিন্তু এক সেকেণ্ডে বেগ-বৃদ্ধির পরিমাণকে সমত্বরণ f বলে। অতএব,

$$\frac{v-u}{t}=f\;;\ \text{অথবা}\ v=u+ft \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots(3.5\,a)$$

(*b*) **$s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণের প্রমাণ** : 3.5(*b*) নং চিত্রে, D_1D_2-কে ($=\delta$) একটি **ক্ষুদ্রতম** সময়ান্তর ধরা হইয়াছে যাহার প্রারম্ভে এবং শেষে কণার বেগ যথাক্রমে B_1D_1 ও B_2D_2। এই সময়ান্তর ($=\delta$) এতই ক্ষুদ্র যে কার্যতঃ $B_1D_1=B_2D_2=v'$ (ধরা যাক্)। কাজেই এই δ সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ $=$ বেগ $\times$ সময় $=B_1D_1\times D_1D_2=v'\times\delta$ $=B_1B_2D_2D_1$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল। এক্ষণে যদি কণার চলার সম্পূর্ণ সময় t ($=OD$) সেকেণ্ডকে এইরূপ বহুসংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সময়ান্তরে ($=\delta$) ভাগ করা যায় তাহা হইলে ঐ বহুসংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র সময়ান্তরের জন্য কণা যে সব পথ অতিক্রম করিবে তাহা 3.5 (*b*) নং চিত্রের $B_1B_2D_2D_1$ ক্ষেত্রের অনুরূপ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল দ্বারা নির্ধারিত হইবে। এইসব ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফলগুলির যোগফলই হইবে $ABDO$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল এবং ইহাই হইবে কণার t সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথের ($=s$) পরিমাণ। অতএব,



চিত্র 3.5(*b*) :

$s=ABDO$ ক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $=ABC$ ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল $+ACDO$ আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $=\frac{1}{2}AC\times BC+AC\times AO$। কিন্তু $AC=t$, $AO=u$ $BC=v-u$। সুতরাং $s=\frac{1}{2}t(v-u)+t\times u$। কিন্তু $(v-u)=ft$ ···(3.5*a*) সমীকরণ]। কাজেই $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$··· ··· ··· ···(3.5*b*)

3-6. স্কেলার ও ভেক্টর (Scalars and Vectors) : যে সব ভৌতরাশির কেবলমাত্র পরিমাণ আছে কিন্তু কোন অভিমুখ নাই এবং যাহারা পাটীগণিতের সাধারণ নিয়ম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাহাদিগকে **স্কেলার** বলে। যেমন, সময়, বস্তুর ভর, আয়তন, দ্রুতি প্রভৃতি। এইসব রাশিগুলির পূর্ণ পরিচয় কেবলমাত্র উহাদের পরিমাণ দ্বারাই পাওয়া যায়। কোনরূপ অভিমুখের প্রয়োজন হয় না।

আবার কতকগুলি ভৌতরাশি আছে যাহাদের পূর্ণ পরিচয় পাইতে হইলে উহাদের পরিমাণ এবং অভিমুখ উভয়েরই উল্লেখ প্রয়োজন। এইসব রাশিকে **ভেক্টর** বলে। যেমন, বস্তুর বেগ, বল, ত্বরণ, সরণ প্রভৃতি ভেক্টর রাশি। যদি বলা হয় যে, বস্তুটির সরণ 20 সে.মি., তাহা হইলে এই উক্তি দ্বারা বস্তুর সঠিক অবস্থান নির্দেশ করা হইবে না, কারণ বস্তুটি 20 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের কেন্দ্র হইতে পরিধির উপর যে কোন স্থানে থাকিলেই কেন্দ্র হইতে উহার দূরত্ব 20 সে. মি. হইবে। কিন্তু যদি বলা হয় যে, 'বস্তুটি নির্দিষ্ট বিন্দু হইতে পূর্বদিকে 20 সে. মি. দূরে অবস্থান করিতেছে' তাহা হইলে ঐ উক্তির দ্বারা বস্তুর সরণ বুঝাইবে যাহার পরিমাণ (20 সে. মি.) এবং অভিমুখ (পূর্বদিক) উভয়েরই উল্লেখ করা হইয়াছে। ভেক্টরের প্রয়োগবিন্দু, পরিমাণ ও অভিমুখ আছে।

ভেক্টর রাশির জ্যামিতিক প্রকাশ ঃ ভেক্টরকে জ্যামিতিকভাবে প্রকাশ করিবার জন্য ভেক্টরের প্রয়োগবিন্দু হইতে একটি তীরচিহ্নযুক্ত সরলরেখা টানিতে হইবে, যাহাতে সরলরেখার দৈর্ঘ্য ভেক্টরের সমানুপাতিক হয় এবং তীরের অগ্রভাগ ভেক্টরের অভিমুখে থাকে।

লব্ধি ভেক্টর ঃ যদি একটি বিন্দুতে বিভিন্ন পরিমাণের একজাতীয় ভেক্টর বিভিন্ন দিকে প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে তাহাদের পরিবর্তে সর্বদা একটি নির্দিষ্ট পরিমাণের ভেক্টর একটি নির্দিষ্ট দিকে পাওয়া যায় যাহার ক্রিয়া পূর্বের ভেক্টরগুলির সম্মিলিত ক্রিয়ার সহিত সর্বতোভাবে সমান। এই একটিমাত্র ভেক্টর, যাহার ক্রিয়া বিভিন্ন ভেক্টরের সম্মিলিত ক্রিয়ার সমান, তাহাকে **লব্ধি ভেক্টর** (Resultant vector) বলে। লব্ধি ভেক্টর নির্ণয় করিবার পদ্ধতিকে **ভেক্টরের যোগ** (vector addition) কিংবা **ভেক্টরের সংযোজন** (composition of vectors) বলে।

3-7. ভেক্টরের সংযোজন (Composition or addition of Vectors) ঃ

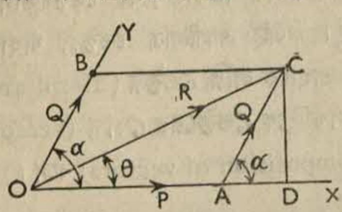
(*a*) **যখন অনেকগুলি একজাতীয় ভেক্টর একটি বিন্দুর উপর একই সরলরেখায় ক্রিয়া করে ঃ** ইহাদের লব্ধি ভেক্টর পাইতে হইলে সরলরেখার একদিকে যে ভেক্টরগুলি ক্রিয়া করিতেছে তাহাদের পরিমাণের যোগফল নির্ণয় করিতে হইবে এবং উহাদের বিপরীত দিকে যে ভেক্টরগুলি ক্রিয়া করিতেছে তাহাদের পরিমাণেরও যোগফল নির্ণয় করিতে হইবে। এই যোগফল দুইটির মধ্যে যে সংখ্যাটি বড় তাহা হইতে ছোট সংখ্যা বিয়োগ করিলে ঐ বিয়োগ-সংখ্যা লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ হইবে। যে ভেক্টরগুলির যোগসংখ্যা বড় তাহাদের অভিমুখই লব্ধি ভেক্টরের **অভিমুখ** হইবে।

উদাহরণ.—বল একটি ভেক্টর রাশি। মনে কর, কোন বস্তুকণার উপর একই সরলরেখার একদিকে 1, 4, 5 পাউণ্ড-ভার বল ক্রিয়া করিতেছে যাহাদের যোগফল 10 পাউণ্ড-ভার। আবার ঐ সরলরেখার বিপরীত দিকে 2, 3, 7 ও 8 পাউণ্ড-ভার বল ক্রিয়া করিতেছে যাহাদের যোগফল 20 পাউণ্ড-ভার। অতএব একই সরলরেখায় যে সাতটি বল ক্রিয়া করিতেছে তাহাদের লব্ধিবলের পরিমাণ হইবে (20 − 10) = 10 পাউণ্ড-ভার এবং ইহার অভিমুখ 2, 3, 7, ও 8 পাউণ্ড-ভার বলগুলির অভিমুখের দিকে থাকিবে।

(*b*) **যখন দুইটি ভেক্টর একটি বস্তুকণার উপর বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করে :** যদি একই বিন্দুতে দুইটি বিভিন্ন পরিমাণ সমজাতীয় ভেক্টর বিভিন্ন দিকে প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে তাহাদের লব্ধি ভেক্টর 'ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রের' সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। সূত্রটি নিম্নরূপ :

যদি একই বিন্দুতে প্রযুক্ত দুইটি বিভিন্ন পরিমাণ সমজাতীয় ভেক্টর বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করে এবং ঐ ভেক্টর দুইটিকে যদি একটি সামান্তরিকের দুইটি সন্নিহিত বাহু দ্বারা প্রকাশ করা যায় তাহা হইলে উহাদের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ ঐ বিন্দু হইতে অঙ্কিত সামান্তরিকের কর্ণ (diagonal) দ্বারা প্রকাশিত হইবে।

লব্ধি ভেক্টরের মান ও অভিমুখ নির্ণয় : মনে কর, P ও Q দুইটি বিভিন্ন পরিমাণের সমজাতীয় ভেক্টর একই সঙ্গে O বস্তুকণার উপর যথাক্রমে OA ও OB অভিমুখে ক্রিয়া করিতেছে [3.6 নং চিত্র]। এই ভেক্টর দুইটির পরিমাণ ও অভিমুখ, $OACB$ সামান্তরিকের দুইটি সন্নিহিত বাহু যথাক্রমে OA ও OB দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে। ভেক্টরের 'সামান্তরিক সূত্র' অনুযায়ী উহাদের



চিত্র 3.6 : ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র

লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ (R) সামান্তরিকের কর্ণ OC (diagonal) দ্বারা প্রকাশিত হইবে এবং ঐ লব্ধি ভেক্টরের অভিমুখ OC-এর দিকে হইবে। ধরা যাক, P ও Q ভেক্টর দুইটির মধ্যের কোণ α এবং উহাদের লব্ধি ভেক্টর R, P-ভেক্টরের সহিত θ কোণ করিয়া আছে। OAC ত্রিভুজে ত্রিকোণমিতি প্রয়োগ করিলে আমরা পাই,

$$OC^2 = OA^2 + OB^2 - 2OA.OB \cos OAC \quad [\because \; AC = OB]$$

অথবা, $$R^2 = P^2 + Q^2 + 2PQ \cos \alpha \quad [\because \cos OAC = -\cos \alpha] \quad (3.7a)$$

আবার, $$\tan \theta = \frac{CD}{OA + AD} = \frac{Q \sin \alpha}{P + Q \cos \alpha} \quad \dots \quad \dots \quad (3.7b)$$

(3.7*a*) সমীকরণ দ্বারা লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ (R) পাওয়া যাইবে এবং ঐ লব্ধি ভেক্টর, P-এর সহিত যে θ-কোণে থাকিবে তাহা (3-7*b*) সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হইবে। অতএব OA (P ভেক্টর) এবং AC-এর (Q ভেক্টর) সংযোজনের ফলে OC (R ভেক্টর) পাওয়া যাইতেছে।

অনুসিদ্ধান্ত 1. যদি P ও Q ভেক্টর দুইটি একই সরলরেখায় একই দিকে থাকে তাহা হইলে $\alpha=0$ এবং $\cos\alpha=1$ ও $\sin\alpha=0$। কাজেই

$R^2=P^2+Q^2+2PQ$; অথবা, $R=P+Q$ এবং $\theta=0$ ... ...(3.7*c*)

অনুসিদ্ধান্ত 2. যদি P ও Q ভেক্টর দুইটি একই সরলরেখায় বিপরীত দিকে থাকে তাহা হইলে $\alpha=180°$ এবং $\cos\alpha=-1$ ও $\sin\alpha=0$। কাজেই

$R^2=P^2+Q^2-2PQ$; অথবা, $R=P-Q$ এবং $\theta=0$ ... ...(3-7*d*)

যদি P ও Q সমান হয় তাহা হইলে $R=0$।

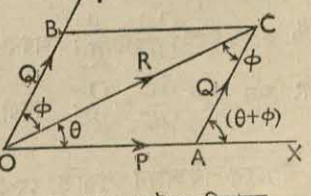
অনুসিদ্ধান্ত 3. যদি P ও Q ভেক্টর দুইটির মধ্যের কোণ $\alpha=90°$ হয় তাহা হইলে $\cos\alpha=0$, ও $\sin\alpha=1$। কাজেই, $R^2=P^2+Q^2$ এবং $\tan\theta=Q/P$। যদি $Q=P$ হয় তাহা হইলে $R=\sqrt{2}P$ এবং $\theta=45°$।

যেহেতু বল, বেগ, ত্বরণ প্রভৃতি ভেক্টর রাশি, সেইহেতু উহাদের ক্ষেত্রেও সামান্তরিক সূত্র প্রযোজ্য। অতএব, একই বিন্দুতে যদি দুইটি বিভিন্ন পরিমাণ বল, কিংবা বেগ কিংবা ত্বরণ বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করে, তাহা হইলে তাহাদের লব্ধি বল কিংবা বেগ কিংবা ত্বরণের পরিমাণ এবং অভিমুখ সামান্তরিক সূত্রের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

3-8. ভেক্টরের বিভাজন (Resolution of Vectors) ঃ

একই বিন্দুতে বিভিন্ন দিকে ক্রিয়ারত দুইটি সমজাতীয় ভেক্টরের লব্ধি ভেক্টর যেমন 'সামান্তরিক সূত্র' হইতে নির্ণয় করা যায় সেইরূপ ঐ সূত্রের সাহায্যে একটি ভেক্টরকে যে কোন দুইটি নির্দিষ্ট দিকে বিভাজনও করা যায়। নিম্নের আলোচনা হইতে এই বিভাজন-পদ্ধতি বোঝা যাইবে।

(a) **যে কোন দুইটি নির্দিষ্ট দিকে একটি ভেক্টরের বিভাজনঃ** মনে কর, R একটি ভেক্টর যাহার পরিমাণ এবং অভিমুখ OC সরলরেখা দ্বারা প্রকাশ করা হইয়াছে [3.7 নং চিত্র]। এই R ভেক্টরকে OX এবং OY এর দিকে বিভাজিত করিতে হইবে যাহারা R-এর সহিত যথাক্রমে θ ও ϕ কোণ করিয়া আছে। এই উদ্দেশ্যে OC-কে কর্ণ (diagonal) করিয়া একটি সামান্তরিক ($CAOB$) অঙ্কিত করা হইল যাহার



চিত্র 3.7 ঃ ভেক্টরের বিভাজন

সন্নিহিত বাহুদ্বয় OA এবং OB যথাক্রমে OX এবং OY-এর দিকে রহিয়াছে। সুতরাং OX এবং OY-এর দিকে R ভেক্টরের বিভাজিত অংশ যথাক্রমে $OA=P$ এবং $OB=AC=Q$ হইবে।

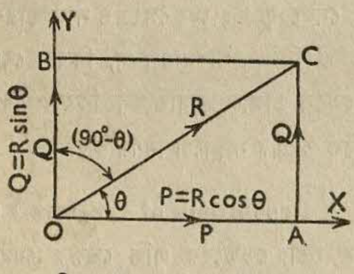
P ও Q-এর মান নির্ণয়ঃ ত্রিকোণমিতির নিয়ম OAC ত্রিভুজে প্রয়োগ করিলে আমরা পাই, $\frac{OC}{\sin\{180-(\theta+\phi)\}}=\frac{OA}{\sin\phi}=\frac{AC}{\sin\theta}$

অথবা, $\frac{R}{\sin(\theta+\phi)}=\frac{P}{\sin\phi}=\frac{Q}{\sin\theta}$

সুতরাং, $P=\frac{R\sin\phi}{\sin(\theta+\phi)}$; $Q=\frac{R\sin\theta}{\sin(\theta+\phi)}$ ... ... (3-8a)

(3-8a) সমীকরণ হইতে OX এবং OY-এর দিকে R-এর দুইটি বিভাজিত অংশ যথাক্রমে P ও Q-এর পরিমাণ পাওয়া যাইবে।

(b) একটি নির্দিষ্ট দিকে এবং তাহার লম্বের দিকে একটি ভেক্টরের বিভাজনঃ মনে কর, R ভেক্টরের পরিমাণ এবং অভিমুখ OC সরলরেখা দ্বারা প্রকাশ করা হইয়াছে [3.8 নং চিত্র]। এই R ভেক্টরকে একটি বিশিষ্ট দিক OX-এর অভিমুখে এবং তাহার সমকোণে অবস্থিত OY-এর অভিমুখে বিভাজিত করিতে হইবে। এজন্য OC-কে $(=R)$ কর্ণ করিয়া একটি আয়তক্ষেত্র $CAOB$ অঙ্কন করিতে হইবে যাহার সন্নিহিত বাহুদ্বয় হইবে $OA\ (=P)$ এবং $OB\ (=Q)$ এবং উহাদের মধ্যস্থ (OA ও OB-এর মধ্যস্থ) কোণ হইবে $\angle BOA=90°$। সুতরাং OX-এর দিকে এবং উহার সমকোণে অবস্থিত OY-এর দিকে R-এর বিভাজিত অংশ হইবে যথাক্রমে $OA=P$ এবং $OB=AC=Q$। যদি R ভেক্টর, নির্দিষ্ট দিক OX-এর সহিত θ কোণ করে তাহা হইলে সমকোণী ত্রিভুজ OAC হইতে পাওয়া যায়,



চিত্র 3.8 ঃ সমকোণে বিভাজন

$$\left.\begin{array}{l}\cos\theta=\frac{OA}{OC}=\frac{P}{R};\ \text{অথবা,}\ P=R\cos\theta\\ \text{এবং}\ \sin\theta=\frac{AC}{OC}=\frac{Q}{R};\ \text{অথবা,}\ Q=R\sin\theta\end{array}\right\}\quad\cdots\quad(3\text{-}8b)$$

উপরের বিভাজন পদ্ধতি যে-কোন ভেক্টরের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। যথা, বল, বেগ, ত্বরণ প্রভৃতি ভেক্টরকে ঐ একই নিয়মে বিভাজন করা হয়।

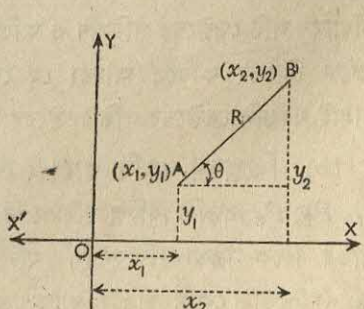
3-9. ভেক্টর-প্রকাশক ত্রিভুজ (Vector-triangle) ঃ যদি তিনটি সমজাতীয় কোন ভেক্টরের (যথা ঃ বল, বেগ, ত্বরণ প্রভৃতি ভেক্টরের যে কোনও একটি) পরিমাণ ও অভিমুখ ত্রিভুজের তিনটি বাহুর দৈর্ঘ্য দ্বারা ক্রমানুসারে পর পর প্রকাশ করা যায় তাহা হইলে উহাদের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ শূন্য হইবে। এই প্রকার ত্রিভুজকে **ভেক্টর-প্রকাশক ত্রিভুজ** বলে।

দুইটি ভেক্টরের সংযোজন পদ্ধতি হইতেও উপরিউক্ত তথ্য অনুধাবন করা যায়। যেমন 3.7 নং চিত্রে OAC ত্রিভুজের OA ও AC বাহুদ্বয়কে ক্রমানুসারে লইয়া উহাদের দৈর্ঘ্য দ্বারা যথাক্রমে P ও Q ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করা হইয়াছে। P ও Q ভেক্টরদ্বয়ের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ ঐ ত্রিভুজের (OAC ত্রিভুজের) OC বাহু দ্বারা প্রকাশ করা হইয়াছে।

অতএব, যদি P, Q ও R ভেক্টরত্রয়, কোন কণার উপর ক্রিয়াশীল থাকে এবং উহাদের পরিমাণ ও অভিমুখ যথাক্রমে OAC ত্রিভুজের OA, AC ও CO বাহুর দৈর্ঘ্য দ্বারা ক্রমানুসারে প্রকাশ করা যায় তাহা হইলে ঐ কণার উপর লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ শূন্য হইবে।

সুতরাং OAC ত্রিভুজের যে কোন দুই বাহুকে (ধরা যাক্ OA ও AC) ক্রমানুসারে লইয়া যদি তাহাদের দৈর্ঘ্য দ্বারা দুইটি ভেক্টরের (যথাক্রমে P ও Q) পরিমাণ ও অভিমুখ প্রকাশ করা যায় তাহা হইলে উহাদের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ (R) ত্রিভুজের তৃতীয় বাহুর (OC) দৈর্ঘ্যের দ্বারা প্রকাশিত হইবে এবং ইহার (লব্ধি ভেক্টরের) অভিমুখ ($\underset{\rightarrow}{OC}$) অপর দুই বাহুর **ক্রমানুসারে** ($\underset{\rightarrow}{OA}$ ও $\underset{\rightarrow}{AC}$) **না হইয়া উহাদের বিপরীত দিকে হইবে।**

3-10. লেখচিত্রের সাহায্যে ভেক্টর রাশির প্রকাশ (Representation of Vector by Co-ordinates) ঃ একটি ছক-কাগজে একটি বিন্দু (O) লওয়া হইল যাহা লেখ-চিত্রের মূলবিন্দু (origin) হইবে। এই মূলবিন্দুর মধ্য দিয়া একটি অনুভূমিক সরলরেখা XOX' (যাহাকে x-অক্ষ বলে) এবং তাহার সমকোণে একটি উল্লম্ব সরলরেখার YOY' (যাহাকে y-অক্ষ বলে) টানা হইল [3.9 নং চিত্র]। মনে কর, কোন একটি ভেক্টর, AB সরলরেখা দ্বারা প্রকাশিত হইল যাহার



চিত্র 3.9 ঃ

A ও B বিন্দুর স্থানাঙ্ক (co-ordinates) যথাক্রমে (x_1, y_1) এবং (x_2, y_2)। এই AB ভেক্টরের পরিমাণ হইবে,

$$R=\{(x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2\}^{\frac{1}{2}} \quad \ldots \quad (3\text{-}10a)$$

R-এর অভিমুখ যদি OX-এর সহিত θ কোণ করিয়া থাকে তাহা হইলে

$$\tan\ \theta=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}। \quad \ldots \quad (3\text{-}10b)$$

অতএব এই লেখচিত্রে, সরলরেখা AB দ্বারা প্রকাশিত ভেক্টরের দুই প্রান্তের স্থানাঙ্ক জানা থাকিলে ঐ স্থানাঙ্কের সাহায্যে ভেক্টরের পরিমাণ (R) এবং অভিমুখ (θ) স্থির করা যায়।

3-11. অনেকগুলি ভেক্টরের যোগ (Addition of Vectors) ঃ

(a) **জ্যামিতিক পদ্ধতি দ্বারা** (By geometrical method) ঃ যদি কোন বস্তু-কণার উপর সমজাতীয় অনেকগুলি বিভিন্ন পরিমাণের ভেক্টর, যথা—P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি বিভিন্ন দিকে প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে তাহাদের লব্ধি ভেক্টর নির্ণয় করিবার পদ্ধতিকে **ভেক্টরের যোগ** বলে। যদি একটি বিন্দুর উপর দুইটি মাত্র সমজাতীয় ভেক্টর থাকে তাহা হইলে তাহাদের যোগফল ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রের [3-7(b) পরিচ্ছেদ] কিংবা ভেক্টর-ত্রিভুজের [3-৭ পরিচ্ছেদ] সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

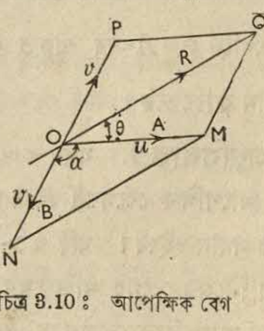
ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রের-প্রয়োগ দ্বারা এক বিন্দুতে প্রযুক্ত অনেকগুলি একজাতীয় ভেক্টরের যোগফলও নির্ণয় করা যায়। প্রথমে যে-কোন দুইটি ভেক্টরের সংযোজন দ্বারা তাহাদের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্ণয় করা হইল। তাহার পর ঐ লব্ধি ভেক্টরের সহিত তৃতীয় একটি ভেক্টরের সংযোজন দ্বারা তাহাদের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্ণয় করা হইল। এইভাবে সব কয়টি ভেক্টর নিঃশেষ করিলে আমরা যে শেষ লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ পাইব তাহাই সবগুলি ভেক্টরের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ হইবে।

(b) **বিশ্লেষণ পদ্ধতি দ্বারা** (By analytical method) ঃ মনে কর, P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি বিভিন্ন পরিমাণের সমজাতীয় ভেক্টর একটি বস্তুকণার উপর বিভিন্ন দিকে ক্রিয়া করিতেছে। যদি ঐ ভেক্টরগুলি OX-এর সহিত যথাক্রমে α_1, α_2, α_3 প্রভৃতি কোণ করিয়া থাকে তাহা হইলে প্রত্যেক ভেক্টরকে OX এবং তাহার সমকোণে অঙ্কিত সরলরেখা OY-এর দিকে বিভাজন দ্বারা ঐ ভেক্টরগুলির লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ স্থির করা যায় [3-8(b) পরিচ্ছেদ দেখ]।

প্রত্যেক ভেক্টরকে [P_1, P_2, P_3 প্রভৃতিকে] OX-এর দিকে বিশ্লেষণ করিলে, বিশ্লিষ্ট অংশগুলি হইবে $P_1 \cos \alpha_1$, $P_2 \cos \alpha_2$, $P_3 \cos \alpha_3$ প্রভৃতি। এই বিশ্লিষ্ট ভেক্টরগুলির যোগফল যদি X ধরা যায় তাহা হইলে $X = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2 + P_3 \cos \alpha_3$ প্রভৃতি। আবার ঐ ভেক্টরগুলিকে OY-এর দিকে বিশ্লেষণ করিলে বিশ্লিষ্ট অংশগুলি হইবে $P_1 \sin \alpha_1$, $P_2 \sin \alpha_2$, $P_3 \sin \alpha_3$ প্রভৃতি। OY-এর দিকের বিশ্লিষ্ট ভেক্টরগুলির যোগফল যদি Y ধরা যায় তাহা হইলে $Y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \sin \alpha_3$ প্রভৃতি। এক্ষণে P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি ভেক্টরগুলির পরিবর্তে মাত্র দুইটি ভেক্টর পাওয়া যাইতেছে যাহাদের পরিমাণ X এবং Y এবং উহাদের মধ্যস্থ কোণ হইবে 90°। এই দুইটি ভেক্টরের লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ যদি R হয় তাহা হইলে P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি সমজাতীয় বিভিন্ন পরিমাণের ভেক্টরগুলির লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণও R হইবে। অতএব $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$। এই লব্ধি ভেক্টর R যদি OX-এর সহিত θ কোণ করিয়া থাকে তাহা হইলে $\tan \theta = Y/X$। Y-এর এবং X-এর মান জানা থাকায় θ-এর মানও জানা যাইবে। এইরূপ বিশ্লেষণ পদ্ধতিতে অনেকগুলি সমজাতীয় ভেক্টরের (যাহার একবিন্দুতে ক্রিয়া করিতেছে) লব্ধি ভেক্টরের পরিমাণ ও অভিমুখ স্থির করা যায়।

3-12. আপেক্ষিক গতিবেগ ও ত্বরণ (Relative velocity and acceleration) ঃ

(a) **আপেক্ষিক বেগ** (Relative velocity) ঃ যখন দুইটি গতিশীল বস্তুর (কিংবা একটি বস্তু গতিশীল আছে এবং অপর বস্তুটি স্থিতিশীল অবস্থায় আছে) বেগের মান ও অভিমুখ বিভিন্ন হয় তখন দ্বিতীয় বস্তুর বেগের তুলনায় প্রথম বস্তুটির বেগের যে মান ও অভিমুখ পাওয়া যাইবে তাহাই দ্বিতীয় বস্তুটির তুলনায় প্রথম বস্তুটির **আপেক্ষিক বেগ** হইবে। প্রমাণ করা যাইতে পারে যে, প্রথম বস্তুর (A) বেগের মান ও অভিমুখের সহিত দ্বিতীয় বস্তুর (B) সমমানের এবং বিপরীতমুখী বেগ সংযোজিত করিলে, দ্বিতীয় বস্তুর (B) তুলনায় প্রথম বস্তুর (A) আপেক্ষিক বেগ পাওয়া যাইবে।



চিত্র 3.10 ঃ আপেক্ষিক বেগ

প্রমাণ ঃ 3.10 নং চিত্রে, A বস্তুর প্রকৃত বেগ u-এর মান ও অভিমুখ কোন এক মুহূর্তের জন্য OM সরলরেখা দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে। আবার B বস্তুর প্রকৃত বেগ v-এর মান ও অভিমুখ ঐ একই মুহূর্তের জন্য ON সরলরেখা দ্বারা প্রকাশিত

হইয়াছে এবং B ও A-এর বেগের অভিমুখের মধ্যে α কোণ অবস্থান করিতেছে। NM যুক্ত করিয়া ONM ত্রিভুজ গঠন করা হইল। ভেক্টর-ত্রিভুজের নিয়মানুসারে, B-এর বেগ ON-এর সহিত NM বেগ যুক্ত করিলে A-এর বেগ OM পাওয়া যায়। অতএব B-এর বেগের তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগ NM দ্বারা প্রকাশিত হইবে। কিন্তু ভেক্টর-ত্রিভুজের নিয়মানুসারে NO ও OM-কে সংযুক্ত করিলে NM পাওয়া যায় (যাহা B-এর বেগের তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগ)। অতএব,

B-এর তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগ ($=NM$) পাইতে হইলে A-এর প্রকৃত বেগের সহিত B-এর সমান ও বিপরীতমুখী বেগ সংযোজন করিতে হইবে।

আপেক্ষিক বেগের মান ও অভিমুখ নির্ণয় : NO সরলরেখাকে বর্ধিত করিয়া ঐ বর্ধিত অংশ হইতে OP লওয়া হইল যাহা ON-এর সমান। অতএব B বস্তুর সমমানের বিপরীতমুখী বেগ OP দ্বারা প্রকাশিত হইবে। OP এবং OM সরলরেখা দুইটিকে সন্নিহিত বাহু করিয়া $OMQP$ সামান্তরিক গঠন করা হইল যাহার কর্ণ $OQ=R$। অতএব B-এর বেগের তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ OQ দ্বারা প্রকাশিত হইবে। সামান্তরিক সূত্রের প্রয়োগ করিলে আমরা পাই $R^2=u^2+v^2+2uv\cos(180-\alpha)$

অথবা, $R^2=u^2+v^2-2uv\cos\alpha$ [(3-7a) সমীকরণ দেখ] ··· (3-12a)

এবং $\tan\theta=\dfrac{v\sin(180-\alpha)}{u+v\cos(180-\alpha)}$

অথবা, $\tan\theta=\dfrac{v\sin\alpha}{u-v\cos\alpha}$ [(3-7b) সমীকরণ দেখ] ··· (3-12b)

এখানে $\theta=A$-এর প্রকৃত বেগের সহিত উহার আপেক্ষিক বেগ যে কোণে অবস্থান করিতেছে।

অনুসিদ্ধান্ত 1. যখন $\alpha=0$, তখন $R=(u\sim v)$ এবং $\theta=0$। অর্থাৎ A বস্তুর আপেক্ষিক বেগের (B-এর তুলনায়) পরিমাণ, দুই বস্তুর প্রকৃত বেগের বিয়োগ-ফলের সমান হইবে। যদি $u>v$, তাহা হইলে A-এর আপেক্ষিক বেগের অভিমুখ উহার নিজের বেগের অভিমুখের দিকেই থাকিবে। আর যদি $v>u$, তাহা হইলে A-এর আপেক্ষিক বেগের অভিমুখ উহার নিজের বেগের বিপরীত দিকে হইবে।

অনুসিদ্ধান্ত 2. যখন $\alpha=180^\circ$, তখন $R=(u+v)$ এবং $\theta=0$। অর্থাৎ A-এর আপেক্ষিক বেগের পরিমাণ দুই বস্তুর প্রকৃত বেগের যোগফলের সমান হইবে।

যদি A ও B-এর বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ সময়ের সহিত পরিবর্তিত না হয় তাহা হইলে B-এর বেগের তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগের পরিমাণ ও অভিমুখও সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইবে না।

(b) **আপেক্ষিক ত্বরণ** (Relative acceleration) : যখন A এবং B বস্তু দুইটির বেগের পরিমাণ কিংবা অভিমুখ কিংবা উভয়ই সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইতে থাকে তখন B-এর তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগের পরিমাণ কিংবা অভিমুখ কিংবা উভয়ই সময়ের সহিত পরিবর্তিত হইতে থাকিবে। এক্ষেত্রে B-এর তুলনায় A-এর আপেক্ষিক বেগের পরিবর্তনের হারকে **আপেক্ষিক ত্বরণ** বলে। যদি A ও B সমত্বরণে চলে তাহা হইলে B-এর তুলনায় A-এর আপেক্ষিক ত্বরণও সব সময়ে একই থাকিবে। অর্থাৎ B-এর তুলনায় A-এর আপেক্ষিক ত্বরণ ধ্রুবক থাকিবে।

বিষয়-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions] (অধ্যায় 3)

1. কোন বস্তুর স্থিতি ও গতি বলিতে কি বুঝ? চরম স্থিতি কিংবা গতি সম্ভব নয় কেন? বস্তুর গতি কি কি প্রকারের হইতে পারে? চিত্রের সাহায্যে বুঝাইয়া দাও।

2, সমতলে বস্তুর অবস্থান বুঝাইতে কি কি পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়? [Arts. 3-1ও 3-2]

3. নিম্নলিখিত রাশিগুলির সংজ্ঞা লিখ এবং উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও :—

(a) দ্রুতি ও সমদ্রুতি, (b) সরণ, (c) বেগ ও সমবেগ, (d) ত্বরণ ও মন্দন, (e) ভরবেগ। ইহাদের মধ্যে কোন্ রাশিগুলি ভেক্টর এবং কোন্ রাশিগুলি স্কেলার? দ্রুতি ও বেগের পার্থক্য কি? [Art, 3-3]

4. ঋজুগতি সম্বন্ধে কয়েকটি সমীকরণের গাণিতিক ও জ্যামিতিক প্রমাণ দাও। [Arts. 3-4 ও 3-5]

5. স্কেলার ও ভেক্টর রাশি কাহাকে বলে? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? লব্ধি ভেক্টর বলিতে কি বুঝ? ভেক্টর রাশিকে জ্যামিতিক নিয়মে কিভাবে প্রকাশ করা হয়? [Art. 3-6]

6. ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্র বিবৃত কর। এই সূত্রের সাহায্যে দুইটি সমজাতীয় ভেক্টরের লব্ধি ভেক্টর কিভাবে নির্ণয় করা যায়? [Art. 3-7]

7. একটি ভেক্টরকে (i) যে কোন দুইটি দিকে, (ii) দুইটি লম্বের দিকে কিভাবে বিশ্লেষণ করা যায়? ভেক্টর-ত্রিভুজ কাহাকে বলে? ইহা দ্বারা দুইটি সমজাতীয় ভেক্টরের সংযোজন কিভাবে করা যায়? [Art, 3-8 ও 3-9]

8. লেখচিত্রের সাহায্যে ভেক্টর রাশিকে কিভাবে প্রকাশ করা যায়? একটি বিন্দুতে অনেকগুলি সমজাতীয় ভেক্টর সংযুক্ত থাকিলে তাহাদের যোগফল (a) জ্যামিতিক উপায়ে এবং (b) বিশ্লেষণ দ্বারা কিভাবে নির্ণয় করা যায়? [Art. 3-10 ও 3-11]

9, আপেক্ষিক গতিবেগ ও ত্বরণ বলিতে কি বুঝ? দুইটি কণার বেগ বিভিন্ন দিকে বিভিন্ন পরিমাণে থাকিলে তাহাদের আপেক্ষিক বেগের পরিমাণ ও অভিমুখ কিভাবে নির্ণয় করা যায়? [Art. 3-12]

10. নিম্নলিখিত রাশিগুলির মধ্যে কোন্গুলি স্কেলার এবং কোন্গুলি ভেক্টর তাহা নির্দেশ কর :— (i) বস্তুর ভর, (ii) আয়তন, (iii) বেগ, (iv) দ্রুতি, (v) বল, (vi) ভরবেগ, (vii) উষ্ণতা, (viii) ত্বরণ, (ix) ওজন।

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type questions) [অধ্যায় 3]

A. **Multiple choice type :** (1) বস্তুর ভর, ওজন এবং আয়তনের মধ্যে কোন্‌টি ভেক্টর ?—সবগুলিই ভেক্টর রাশি ; সবগুলিই স্কেলার; বস্তুর ওজন ভেক্টর রাশি এবং আয়তন ও ভর স্কেলার রাশি। (2). গতিশীল কণার ত্বরণ বলিতে কি বুঝ ?—এক সেকেণ্ডে কণার বেগ-বৃদ্ধিকে ত্বরণ বলে ; এক সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথকে ত্বরণ বলে। একটি নির্দিষ্ট সময়ে কণার যে বেগ-বৃদ্ধি হয় তাহাই কণার ত্বরণ হইবে।

B. **Recall type :** (1) দ্রুতির — থাকে কিন্তু কোন — থাকে না ; অথচ — পরিমাণ ও অভিমুখ দুইই থাকে। (2) এক সেকেণ্ডে কণার — ত্বরণ বলে কিন্তু এক সেকেণ্ডে কণার বেগের হ্রাসের পরিমাণকে—বলে। (3) যখন দুইটি বস্তুর — বিভিন্ন পরিমাণে বিভিন্ন দিকে থাকে তখন একটির বেগের তুলনায় অপরটির যে — পাওয়া যাইবে তাহাকে — বেগ বলে।

C. **True or false type :** (1) বস্তুর ওজন এবং ভর উভয়ই ভেক্টর রাশি। (2) এক সেকেণ্ড সময়ে কণা যে রাস্তা অতিক্রম করে তাহাকে কণার বেগ বলে। (3) ভেক্টরের সামান্তরিক সূত্রের সাহায্যে একই বিন্দুতে, বিভিন্ন দিকে প্রযুক্ত দুইটি বিভিন্ন বলের লব্ধি বল নির্ণয় করা যায়। (4) ভেক্টর-ত্রিভুজের সাহায্যে দুইটি বেগের লব্ধি বেগ নির্ণয় করা যায়।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums)

1. ঘণ্টায় 30 মাইল গতিসম্পন্ন একটি রেলগাড়ীকে ব্রেকের সাহায্যে 1·5 মিনিটে থামাইয়া দেওয়া হইল। গাড়ীটির মন্দন নির্ণয় কর এবং ব্রেক প্রয়োগ করার পর গাড়ীটি কত দূর যাইয়া থামিবে ?

উঃ। (i) গাড়ীর গতি ঘণ্টায় 30 মাইল হইলে, উহা সেকেণ্ডে 44 ফুট হইবে। অতএব গাড়ীর আদি বেগ 44 ফুট/সেকেণ্ড ছিল এবং 1·5 মিনিট অর্থাৎ 90 সেকেণ্ড পরে উহার অন্তিম বেগ শূন্য হইবে। অতএব, $v=u+ft$, হইতে $0=44+f\times 90$; অথবা $f=-44/90=-22/45$ ফুট/সেকেণ্ড^2 ; সুতরাং গাড়ীর মন্দন $=22/45$ ফুট/সেকেণ্ড^2। (ii) আবার $v^2=u^2+2fs$; কাজেই $0=44^2-2\times\frac{22}{45}s$; অতএব $s=\frac{44\times 44\times 45}{44}$ ফুট অথবা $s=1980$ ফুট।

2. কোন কণা সমত্বরণে সরলরেখা ধরিয়া চলিয়া 11-তম এবং 15-তম সেকেণ্ডে উহা যথাক্রমে 720 এবং 960 cm. রাস্তা অতিক্রম করিল। কণার আদি বেগ কত ছিল এবং উহা 20 সেকেণ্ড সময়ে কত রাস্তা অতিক্রম করিবে ?

উঃ। আমরা জানি $s_n=u+f(n-1/2)$; অতএব, $720=u+f(11-\frac{1}{2})$ এবং $960=u+f(15-1/2)$। এই দুই সমীকরণের সমাধান করিলে আমরা পাই $u=90$ cm/sec. এবং $f=60$ cm/sec^2। আবার $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$; অথবা, $s=90\times 20+\frac{1}{2}\times 60\times 20^2=13800$ cm. $=138$ মিটার।

3. একটি মোটর গাড়ী যখন 36 গজ অগ্রসর হইল তখন উহার প্রারম্ভিক বেগ 20 ফুট/সেকেণ্ড হইতে সমভাবে বাড়িয়া ঘণ্টায় 30 মাইলে দাঁড়াইল। মোটর গাড়ীটির ত্বরণ কত?

উঃ। গাড়ীর বেগ ঘণ্টায় 30 মাইল হইলে, সেকেণ্ডে 44 ফুট হইবে। 36 গজ $=3\times36$ ফুট। কিন্তু $v^2=u^2+2fs$; অথবা, $44^2=20^2+2f\times3\times36$; অথবা, $f=7\frac{1}{9}$ ft/sec^2.

4. দুইটি রেলগাড়ী একই স্টেশন হইতে দুইটি সমান্তরাল লাইনে একই দিকে স্থির অবস্থা হইতে যাত্রা করিল। প্রথম গাড়ীটি 10 cm./sec^2 ত্বরণে যাত্রা করিয়া যে সর্বোচ্চ বেগ অর্জন করিল তাহা ঘণ্টায় 3·6 কিলোমিটার এবং ইহার পর গাড়ীটি ঐ বেগে চলিতে থাকিল। দ্বিতীয় গাড়ীটি, প্রথম গাড়ীর ছাড়ার 100 সেকেণ্ড পরে 20 cm./sec^2 ত্বরণে যাত্রা করিয়া যে সর্বোচ্চ বেগ অর্জন করিল তাহা ঘণ্টায় 72 কিলোমিটার এবং ইহার পর গাড়ীটি ঐ বেগে চলিতে থাকিল। দ্বিতীয় গাড়ীটি স্টেশন হইতে কতদূরে এবং কত সময় পরে প্রথম গাড়ীকে অতিক্রম করিবে?

উঃ। 36 km./hour $=10^3$ cm./sec. এবং 72 km./hour $=2\times10^3$ cm./sec.। প্রথম গাড়ীর সর্বোচ্চ বেগ ($=10^3$ cm./sec.) অর্জন করিতে সময় লাগিল t_1 সেকেণ্ড। অতএব, $10^3=10\times t_1$; অথবা $t_1=100$ secs। এই সময়ে উহার অতিক্রান্ত রাস্তা$=s_1=\frac{1}{2}\times10\times100^2=5\times10^4$ cm.

দ্বিতীয় গাড়ীর সর্বোচ্চ বেগ ($=2\times10^3$ cm./sec.) অর্জন করিতে সময় লাগিল t_2 সেকেণ্ড। অতএব $2\times10^3=20\times t_2$; অথবা, $t_2=100$ secs.। এই সময়ে উহার অতিক্রান্ত পথ$=s_2=\frac{1}{2}\times20\times100^2=10^5$ cm.

প্রথম গাড়ীটি, দ্বিতীয় গাড়ীর যাত্রার 100 সেকেণ্ড পূর্বে যাত্রা করিয়াছে। কাজেই 200 সেকেণ্ডে প্রথম গাড়ীর মোট অতিক্রান্ত পথ$=5\times10^4+100\times10^3$ $=15\times10^4$ cm.। এখন হইতে t সেকেণ্ড পর যদি দুই গাড়ী মিলিত হয় তাহা হইলে স্টেশন হইতে দুই গাড়ীর অতিক্রান্ত পথ সমান হইবে। অতএব, $15\times10^4+10^3t=10^5+2\times10^3t$। অথবা, $10^3t=5\times10^4$; অথবা, $t=50$ sec.। অতএব দ্বিতীয় গাড়ীর যাত্রার 150 সেকেণ্ড পর দুই গাড়ী মিলিত হইবে এবং উহার অতিক্রান্ত পথ হইবে $10^5+2\times10^3\times50=10^5+10^5=2\times10^5$ cm.।

5. একটি লোক যখন রেলগাড়ীর প্রবেশ দরজা হইতে 9 মিটার দূরে তখন গাড়ীটি 2 মিটার (প্রতি সেকেণ্ড)^2 সমত্বরণে চলিতে আরম্ভ করিল। লোকটি তখন সমবেগে দৌড়াইয়া গাড়ীতে প্রবেশ করিল। লোকটি কত বেগে দৌড়াইল?

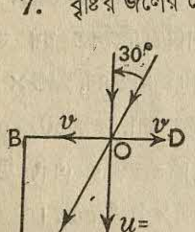
উঃ। যখন লোকটি গাড়ীতে প্রবেশ করিল তখন গাড়ী এবং লোকটির মধ্যে কোনরূপ আপেক্ষিক বেগ ছিল নাক্। মনে করা যা, গাড়ীর এবং লোকটির t

সেকেণ্ড চলার পর লোকটি গাড়ীতে উঠিতে পারিল। t সেকেণ্ডে গাড়ীর যে বেগ হইবে তাহা যদি v হয় তাহা হইলে $v=ft=2\times t$। লোকটির সমবেগ যদি u হয় তাহা হইলে লোকটি গাড়ীকে যখন ধরিয়া ফেলিবে তখন উহাদের আপেক্ষিক বেগ $u-v=u-2t=0$; অতএব $t=(u/2)$। আবার গাড়ীটি যদি t সেকেণ্ডে s মিটার রাস্তা যায় তাহা হইলে $s=\frac{1}{2}ft^2=\frac{1}{2}\times2\times t^2=t^2$; অথবা $s=(u^2/4)$। সুতরাং লোকটি যে রাস্তা দৌড়াইল তাহার পরিমাণ হইবে $s+9=ut=u\times(u/2)$ $=\frac{2u^2}{4}$; অতএব $s+9=\frac{2u^2}{4}$; অথবা, $\frac{u^2}{4}+9=\frac{2u^2}{4}$; অথবা, $\frac{u^2}{4}=9$; অথবা $u=6$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে।

6. একটি লোক আধ মাইল চওড়া একটি নদীর স্রোতের সমকোণে ঘণ্টায় 2 মাইল বেগে সাঁতার কাটিয়া চলিতেছে। কিন্তু স্রোতের টানে লোকটি নদীর বিপরীত পাড়ে না পৌঁছিয়া সেখান হইতে 1/4 মাইল ভাঁটার দিকে দূরে সরিয়া গেল। নদীর স্রোতের বেগ কত? অপর পাড়ে যাইতে তাহার কত সময় লাগিবে? লোকটির প্রকৃত বেগ কত হইবে?

উঃ। নদীতে যদি স্রোত না থাকিত তাহা হইলে নদী পার হইতে লোকটির সময় লাগিত $t=\frac{1}{2\times2}=\frac{1}{4}$ ঘণ্টা। কিন্তু নদীর জলের স্রোত থাকায় এই $\frac{1}{4}$ ঘণ্টায় স্রোত লোকটিকে $\frac{1}{4}$ মাইল লইয়া গেল। কাজেই স্রোতের বেগ $=\frac{1}{4}/\frac{1}{4}=1$ মাইল প্রতি ঘণ্টায়। লোকটি প্রকৃতপক্ষে যে রাস্তা অতিক্রম করিল তাহা যদি x মাইল হয় তাহা হইলে $x^2=(\frac{1}{2})^2+(\frac{1}{4})^2=\frac{5}{16}$। অতএব, $x=\sqrt{5}/4$ মাইল। সুতরাং লোকটির প্রকৃত বেগ $=\sqrt{5}/4\div\frac{1}{4}=\sqrt{5}$ মাইল প্রতি ঘণ্টায়।

7. বৃষ্টির জলের ফোঁটাগুলি উল্লম্ব নীচের দিকে এক মিটার প্রতি সেকেণ্ডে বেগে পড়িতেছে। একটি লোক ভূতলে কত বেগে সাইকেল চালাইবে যাহাতে জলের ফোঁটাগুলি তাহার গায়ে উল্লম্ব রেখার সহিত 30° কোণ করিয়া আঘাত করিতে পারে। লোকটির কাছে জলের ফোঁটার আপাত বেগ কত হইবে?



চিত্র 3.11 :

উঃ 3.11নং চিত্রে $OA=u=1$ মিটার/সেকেণ্ড জলের ফোঁটার বেগ নির্দেশ করিতেছে। OC বৃষ্টির জলের আপাত বেগ ও অভিমুখ নির্দেশ করিতেছে। অতএব $\angle COA=30^\circ$। লোকটি OD অভিমুখে v m/sec. বেগে সাইকেল চালাইতেছে। বৃষ্টির প্রকৃত বেগের (OA) সহিত লোকটির বিপরীত বেগ $(OB=v)$ সংযোজন করিলে বৃষ্টির আপাত বেগ ($OC=R$) পাওয়া যাইবে।

3.11নং চিত্রে, $R\cos 30^\circ = 1$; অথবা $R = \frac{2}{\sqrt{3}}$ m/sec. এবং $R\sin 30^\circ = v$

অথবা, $v = \frac{2}{\sqrt{3}} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{\sqrt{3}}$ metre./sec = ·577 m/sec.।

8. কোনও কণা একটি নির্দিষ্ট দিকে 8 cm/sec. সমবেগে চলিতেছে। এই নির্দিষ্ট দিকের সমকোণে কণার উপর 6 cm/sec². ত্বরণ প্রয়োগ করা হইল। এই ত্বরণ প্রয়োগ করার এক সেকেণ্ড পর কণার বেগ ও সরণ কত হইবে ?

উঃ। কণার সমবেগের সমকোণে ত্বরণ প্রয়োগ করায় এক সেকেণ্ডের শেষে কণার একদিকের বেগ 8 cm./sec. এবং উহার সমকোণের দিকের বেগ 6 cm./sec.। কাজেই এক সেকেণ্ডের শেষে কণার লব্ধি বেগ হইবে R। অতএব $R = \sqrt{6^2+8^2} = 10$ cm./sec.। এক সেকেণ্ডের শেষে কণার সমবেগের সমকোণে সরণ হইবে $s = \frac{1}{2}ft^2 = \frac{1}{2} \times 6 \times 1^2 = 3$ cm. অতএব এক সেকেণ্ডের শেষে কণার লব্ধি সরণ $x = \sqrt{3^2+8^2} = 8\cdot5$ cm.

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 3]

1. কোন রেলগাড়ী তাহার স্থির অবস্থা হইতে সমত্বরণে চলিয়া এক মাইলের এক-চতুর্থাংশ রাস্তা অতিক্রম করিল এবং এইখানে তাহার বেগ ঘণ্টায় 45 মাইল হইল। গাড়ীর ত্বরণ কত হইবে ?

[**Ans.** $f = 1\cdot65$ $ft./sec.^2$]

2. একটি রাইফেলের গুলি যখন 9·6 ইঞ্চি মোটা দেওয়াল অতিক্রম করিল তখন গুলির বেগ 1200 ফুট/সেকেণ্ড হইতে কমিয়া 800 ফুট/সেকেণ্ড দাঁড়াইল। গুলিটি যখন দেওয়ালের অর্ধেক রাস্তা অতিক্রম করিবে যখন তখন উহার বেগ কত হইবে এবং ঐ অর্ধেক রাস্তা যাইতে কত সময় লাগিবে ?

[**Ans.** 1019·8 ft/see ঃ ·0008 সেকেণ্ড]

3. 150 ফুট উচ্চতার একটি মিনারের চূড়া হইতে একটি প্রস্তরখণ্ডকে নীচের দিকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। ঐ একই সময়ে আর একটি প্রস্তরখণ্ডকে উল্লম্ব উপরের দিকে 50 ফুট/সেকেণ্ড বেগে নিক্ষেপ করা হইল। দুই প্রস্তরখণ্ড কখন এবং কোথায় মিলিত হইবে ? পৃথিবীর আকর্ষণ-জনিত বস্তুর ত্বরণ কিংবা মন্দন 32 ফুট (প্রতি সেকেণ্ডে)²।

[**Ans.** মাটি হইতে 6 ফুট উচ্চতায় এবং নিক্ষেপের 3 সেকেণ্ড পরে দুই প্রস্তরখণ্ড মিলিত হইবে]

4. একটি রেলগাড়ীর দ্রুতি 80 কিলোমিটার/ঘণ্টা। ইহার উপর ব্রেক প্রয়োগ করার পর ইহা 100 মিটার যাইয়া থামিয়া গেল। গাড়ীটির মন্দন কত ? (G. U. 1962)

[**Ans.** 2·47 মিটার (প্রতি সেকেণ্ড)²]

5. কোনও একটি বস্তু, সমত্বরণে [3·5 ফুট/(সেকেণ্ড)²] 292 ফুট রাস্তা 8 সেকেণ্ডে অতিক্রম করিল। বস্তুটির প্রাথমিক বেগ কত ছিল ? [**Ans.** 22·5 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে]

6. একটি প্রস্তরখণ্ডকে গভীর কূপের মধ্যে ফেলা হইল। যখন প্রস্তরখণ্ডটি জলের তলে পৌঁছিল তখন উহার বেগ 80 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে হইলে কূপের গভীরতা কত হইবে ? [**Ans.** 100 ফুট]

7. একটি মোটর গাড়ী স্থির অবস্থা হইতে 2 মিটার (প্রতি সেকেণ্ড)^2 সমত্বরণে চলিতে আরম্ভ করিল। গাড়ীর পশ্চাতে 100 মিটার দূরের একটি কুকুর 20 মিটার প্রতি সেকেণ্ড বেগে গাড়ীর দিকে দৌড়াইতে আরম্ভ করিল। কত সেকেণ্ড পর কুকুরটি গাড়ীকে ধরিয়া ফেলিবে? [**Ans.** 10 সেকেণ্ড].

8. একটি প্রস্তরখণ্ড গভীর কূপের মধ্যে ছাড়িয়া দিলে উহা যখন কূপের তলে পৌঁছিবে তখন উহার বেগ 96 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে হইবে। প্রস্তরখণ্ডটি জলের তলে পড়ায় যে শব্দ উৎপন্ন হইবে তাহা, প্রস্তরখণ্ড ফেলার $3\frac{3}{25}$ সেকেণ্ড পর শুনা যাইবে। শব্দের বেগ কত হইবে? [**Ans.** 1200 ফুট প্রতি সেকেণ্ড]

সংকেত : [যদি কূপের গভীরতা h ফুট হয় তাহা হইলে $v^2=u^2+2fs$ সূত্র অনুযায়ী $96=0+2\times32\times h$; অথবা $h=144$ ফুট। আবার $v=u+ft$ সূত্র অনুযায়ী $96=0+32\times t$; অথবা, $t=3$ সেকেণ্ড। প্রস্তরখণ্ডটির কূপের মধ্যে পড়িতে 3 সেকেণ্ড সময় লাগিয়াছে। অতএব শব্দের 144 ফুট আসিতে $\frac{3}{25}$ সেকেণ্ড সময় লাগিয়াছে। কাজেই শব্দের বেগ $=V=\frac{144}{3/25}=48\times25=1200$ ফুট/সেকেণ্ড]

9. কোন বস্তুর বেগ 1 ফুট প্রতি সেকেণ্ড ছিল এবং এক মিনিট সময়ের মধ্যে ইহা পরিবর্তিত হইয়া এক মাইল প্রতি ঘণ্টায় হইল। বস্তুটির ত্বরণ নির্ণয় কর যখন দৈর্ঘ্যের একক গজ এবং সময়ের একক মিনিট ধরা হয়। [**Ans.** $9\frac{1}{3}$ গজ (প্রতি মিনিট)^2]

10. একটি কণা সমত্বরণে t সেকেণ্ড ধরিয়া চলার পর শেষ সেকেণ্ডে সমস্ত অতিক্রান্ত পথের 9/25 অংশ রাস্তা অতিক্রম করিল। কণাটি যদি স্থির অবস্থা হইতে যাত্রা করে এবং প্রথম সেকেণ্ডে 6 ইঞ্চি রাস্তা অতিক্রম করে তাহা হইলে কণা কত সময় ধরিয়া চলিয়াছিল এবং মোট কত রাস্তা অতিক্রম করিয়াছিল? [**Ans.** সময় = 5 সেকেণ্ড ; অতিক্রান্ত পথ = 12·5 ফুট]

সংকেত : [$s=ut+\frac{1}{2}ft^2$; 6 ইঞ্চি রাস্তা যাইতে কণার 1 সেকেণ্ড লাগিয়াছিল এবং উহার প্রাথমিক বেগ $u=0$। অতএব, $\frac{6}{12}=\frac{1}{2}\times ft^2$; অথবা, $f=1$ ফুট (প্রতি সেকেণ্ড)^2। t সেকেণ্ডে কণার অতিক্রান্ত পথ $=s=0+\frac{1}{2}\times1\times t^2=\frac{t^2}{2}$। কণার t-তম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ $\frac{9}{25}s=u+f(t-\frac{1}{2})=0+1(t-\frac{1}{2})$; অথবা, $\frac{9}{25}\times\frac{t^2}{2}=t-\frac{1}{2}$; অথবা, $9t^2-50t+25=0$; অথবা, $(9t-5)(t-5)=0$; অথবা, $t=\frac{5}{9}$ সেকেণ্ড কিংবা $t=5$ সেকেণ্ড। কিন্তু সম্পূর্ণ সময় $\frac{5}{9}$ সেকেণ্ড হইতে পারে না কারণ প্রশ্ন অনুযায়ী কণা এক সেকেণ্ডের বেশী সময় ধরিয়া চলিয়াছে। কাজেই কণা 5 সেকেণ্ড ধরিয়া চলিয়াছে। কণার মোট অতিক্রান্ত পথ $s=\frac{1}{2}ft^2=\frac{1}{2}\times25$; অথবা, $s=12·5$ ft। কণার চলার সময় 5/9 সেকেণ্ড হইলে উহার মোট অতিক্রান্ত পথ এক ফুটেরও কম হইত যাহা প্রশ্ন অনুযায়ী অসম্ভব।

11. কোন রেলগাড়ী ষ্টেশনে পৌঁছিবার এক মাইল পূর্বে যখন উহার গতি ঘণ্টায় 60 মাইল ছিল সেই সময় একটি বগী রেলগাড়ী হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া গেল কিন্তু গাড়ীটি ষ্টেশনে না থামিয়া সমবেগে চলিতে থাকিল। বিচ্ছিন্ন বগীটির বেগ ক্রমশ কমিয়া যখন ষ্টেশনে আসিয়া থামিয়া গেল তখন গতিশীল গাড়ীটি কোথায় থাকিবে? [**Ans** ষ্টেশন ছাড়াইয়া 1 মাইল দূরে]

সংকেত : [গাড়ীটার বেগ 88 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। কাজেই বগীটার প্রাথমিক বেগ 88 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে, অন্তিম বেগ শূন্য, অতিক্রান্ত পথ $=1760\times3$ ফুট। অতএব বগীটির মন্দন f পাওয়া যাইবে $v^2=u^2+2fs$ সমীকরণ হইতে। অথবা, $0=88^2-2f\times1760\times3$ অথবা, $f=\frac{88^2}{6\times1760}$ ফুট/(সেকেণ্ড)^2। আবার $v=u+ft$; অতএব, $0=88-\frac{88^2}{6\times1760}t$; অথবা, $t=\frac{6\times1760}{88}$ সেকেণ্ড। এই t সেকেণ্ড সময়ে গাড়ীটি যাইবে s' রাস্তা। অতএব, $s'=88\times t=6\times1760=2$ মাইল। কাজেই ট্রেনটি ষ্টেশন ছাড়াইয়া এক মাইল দূরে চলিয়া যাইবে।]

12. একটি কণার উপর দুইটি বেগ প্রয়োগ করা হইল যাহাদের পরিমাণ 12 cm./sec. এবং 15 cm./sec. এবং এই দুই বেগের মধ্যস্থ কোণ 30°। কণার লব্ধিবেগ এবং তাহার অভিমুখ নির্ণয় কর।

[**Ans.** লব্ধিবেগ = 26'08 cm/sec ; লব্ধিবেগ যদি 12 cm/sec বেগের সহিত θ কোণ করে তাহা হইলে $\tan\theta = \cdot 3$ হইবে]

13. বায়ু একটি নির্দিষ্ট বেগে পূর্ব এবং উত্তরের মধ্যস্থ দিক হইতে আসিতেছে। দক্ষিণ দিকে বায়ুর বেগের উপাংশ = 5 মিটার/ঘন্টা এবং পশ্চিম দিকে বায়ুর বেগের উপাংশ 12 মিটার/ঘন্টা। বায়ুর প্রকৃত বেগ কত?

[**Ans.** 13 মিটার/ঘন্টা]

14. কোন মুহূর্তে একটি কণা পূর্বের দিকে 10 মিটার/সেকেণ্ড বেগে যাইতেছে। এক সেকেণ্ড পর দেখা গেল যে কণাটি ঐ একই বেগে উত্তর দিকে যাইতেছে। ঐ এক সেকেণ্ড সময়ে কণার বেগের পরিবর্তন কি পরিমাণ হইবে এবং কোন্ দিকে হইবে?

[**Ans.** কণাটির বেগের পরিবর্তন উত্তর পশ্চিম দিকে 14·14 মিটার প্রতি সেকেণ্ড দ্বারা হইবে]

15. একটি লোক উত্তর দিকে 30 কিলোমিটার/ঘন্টা বেগে মোটরগাড়ী-চালাইতেছে। লোকটির কাছে মনে হইতেছে যেন বায়ু উত্তর-পশ্চিম দিক হইতে আসিতেছে, যদিও বায়ু প্রকৃতপক্ষে পশ্চিম দিক হইতে আসিতেছে। বায়ুর প্রকৃত ও আপাত বেগ কত হইবে?

[**Ans.** প্রকৃত বেগ = 30 km/hour ; আপাতবেগ = 42·4 km/hour]

অধ্যায় 4

নিউটনের গতি-সূত্রাবলী : ঘর্ষণ : ভর ও ভারকেন্দ্র : বস্তুর সাম্য অবস্থা

[Newton's laws of motion : Friction : Centre of mass and gravity : Equilibrium of bodies]

4-1. নিউটনের গতি-সূত্রাবলী : স্যার আইজাক নিউটন তাঁহার অমর গ্রন্থ প্রিন্সিপিয়াতে (Principia) সর্বপ্রথম (1686 খৃষ্টাব্দে) অচেতন বস্তুর গতি সম্বন্ধে কতকগুলি মূল তথ্য সূত্রের আকারে প্রকাশ করেন। এই সূত্রগুলি 'নিউটনের গতিসূত্র' নামে পরিচিত। এই সূত্রগুলিই নিউটনীয় বলবিদ্যার (Newtonian mechanics) মূল ভিত্তি, যাহার দ্বারা আমরা বল সম্বন্ধে একটা ধারণা পাই এবং বলের পরিমাপ পদ্ধতিও পাওয়া যায়। সূত্রগুলির বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

প্রথম সূত্র : বাহির হইতে কোন বল অচেতন বস্তুর উপর প্রযুক্ত না হইলে স্থির বস্তু চিরকাল স্থির থাকিতে চায় এবং সচল বস্তু চিরকাল সমবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলিতে চায়।

দ্বিতীয় সূত্র : কোন বস্তুর ভরবেগের (momentum) পরিবর্তনের হার বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক হইবে এবং বল যেদিকে প্রযুক্ত হইবে ভরবেগের পরিবর্তনও সেইদিকে হইবে।

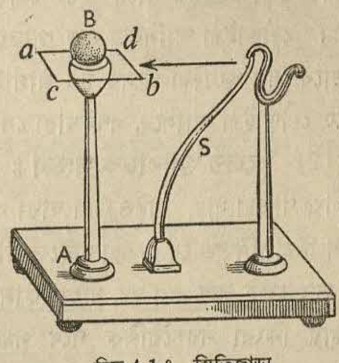
তৃতীয় সূত্র : প্রত্যেক ক্রিয়ারই (action) সমান এবং বিপরীত প্রতিক্রিয়া (reaction) আছে।

4-2. নিউটনের প্রথম সূত্রের আলোচনা : এই সূত্রের মধ্যে দুইটি অংশ আছে। (1) প্রথম অংশে পদার্থের জাড্য ধর্ম (inertia) কি তাহাই বলা হইয়াছে এবং (2) দ্বিতীয় অংশে বলের স্বরূপ সম্বন্ধে বলা হইয়াছে। এই অংশ হইতে বলের গুণবাচক সংজ্ঞা পাওয়া যায় কিন্তু পরিমাপ পদ্ধতি পাওয়া যায় না।

(1) **জাড্য ধর্মের সংজ্ঞা :** যে ধর্মের প্রভাবে জড় বস্তু বাহ্যিক বল প্রয়োগ ব্যতীত, কেবলমাত্র নিজের ক্রিয়া দ্বারা তাহার স্থির অবস্থার বা সরলরৈখিক পথে সমবেগ অবস্থার পরিবর্তন করিতে পারে না তাহাকে জড়বস্তুর **জাড্য ধর্ম** (inertia) বলে। জাড্য দুই প্রকারের হইতে পারে, যথা—(a) স্থিতিজাড্য (inertia of rest) এবং (b) গতিজাড্য (inertia of motion)।

(a) **স্থিতিজাড্য** জড় বস্তুর এমন একটি ধর্ম যাহার প্রভাবে, বাহ্যিক বল ব্যতীত, জড় বস্তু চিরকালই স্থির থাকিতে চায়।

উদাহরণ.—(i) জড় বস্তুর স্থিতিজাড্য, 4.1 নং চিত্রে প্রদর্শিত যন্ত্রের সাহায্যে সহজেই দেখান যায়। ইহাতে একটি উলম্ব দণ্ডের মাথায় একটি কাপ (c) থাকে যাহার মধ্যে একটি বল (B) ঢুকিয়া যাইতে পারে। এই কাপের উপর একটি শক্ত কার্ডবোর্ড (ab) রাখিয়া তাহার উপর বলটিকে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে উহা কাপের মুখের ঠিক উপরেই থাকে। এক্ষণে একটি স্প্রিংকে (S) একদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা খুব দ্রুত যাইয়া কার্ডবোর্ডকে আঘাত করিবে এবং উহাকে দ্রুত সরাইয়া দিবে। বলটি তাহার স্থিতিজাড্যের প্রভাবে কার্ডবোর্ডের দ্রুতবেগ গ্রহণ করিতে না পারিয়া স্বস্থানে থাকিয়া যাইবে এবং কার্ডবোর্ড না থাকায় উহা দণ্ডের উপরিস্থিত কাপের মধ্যে ঢুকিয়া যাইবে।



চিত্র 4.1 : স্থিতিজাড্য

(ii) রাইফেলের গুলি যখন **প্রচণ্ড বেগে** জানালার কাচে লাগে, তখন গুলিবিদ্ধ স্থানটি গুলির সঙ্গে সরিয়া যাইয়া কাচে গুলির আকারে একটি ছিদ্র গঠন করে। অবশিষ্ট কাচ স্থিতিজাড্যের প্রভাবে গুলির প্রচণ্ড বেগ সঙ্গে সঙ্গে গ্রহণ করিতে না পারায় যথাস্থানে থাকিয়া যায়।

কিন্তু যখন একটি প্রস্তরখণ্ড **অল্প বেগে** আসিয়া জানালার কাচকে আঘাত করে তখন ঐ আঘাতপ্রাপ্ত স্থান প্রস্তরখণ্ডের বেগ পায় এবং সেই সঙ্গে তাহার পার্শ্ববর্তী স্থানও অপেক্ষাকৃত কম বেগ পায়। কাচের বিভিন্ন অংশের বেগ বিভিন্ন হওয়ায় ঐ সব অংশের বক্রতাও বিভিন্ন হইবে। ইহার ফলে কাচ ভাঙ্গিয়া যাইবে।

(iii) কম্বলকে লাঠি দ্বারা ঘা দিলে কম্বলটি হঠাৎ দ্রুত সরিয়া যায় কিন্তু উহার মধ্যস্থ ধূলাগুলি স্থিতি-জড়তার প্রভাবে স্বস্থানে থাকিয়া যায় এবং কোন প্রকার অবলম্বন না পাওয়ায় ধূলাগুলি মাটিতে পড়িয়া যায়।

(b) **গতিজাড্য** জড় বস্তুর এমন একটি ধর্ম যাহার প্রভাবে, বাহ্যিক বল ব্যতীত সচল বস্তু চিরকালই সমবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলিতে চায়।

উদাহরণ—(i) সমবেগে চলমান রেলগাড়ীর কোন কামরা হইতে যদি কোন লোক একটি বলকে খাড়া উপরের দিকে নিক্ষেপ করে তাহা হইলে লোকটির হাতের অবস্থান অপরিবর্তিত থাকিলে বলটি পুনরায় লোকটির হাতে আসিয়া পড়িবে। গতিজাড্যের

প্রভাবে, বলের এবং গাড়ীর অনুভূমিক বেগ অপরিবর্তিত থাকিবে। কাজেই বলটি যখন উপর হইতে নীচে আসিতে থাকিবে, তখন বল এবং হাত উভয়ই গাড়ীর সমান বেগে সামনের দিকে অগ্রসর হইতে থাকিবে এজন্য বলটি লোকটির হাতে আসিয়া পড়িবে।

(ii) দীর্ঘ-লম্ফ (long jump) প্রতিযোগিতার সময়, প্রতিযোগীকে সীমা নির্দেশক দাগের বেশ কিছুদূর আগে হইতে দৌড়াইয়া আসিয়া ঐ দাগ হইতে লাফ দিতে দেখা যায়। দৌড়াইয়া আসিবার জন্য প্রতিযোগী যে গতি সঞ্চয় করে সেই গতিজাড্যের প্রভাবে সে লম্ফ দিয়া অনেক দূর আগাইয়া যাইতে পারে। প্রতিযোগী যত বেশী দূর হইতে দৌড়াইয়া আসিবে, লম্ফ দ্বারা সে তত দীর্ঘ পথ অতিক্রম করিতে পারিবে।

(2) **বলের গুণবাচক সংজ্ঞা ঃ** নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে বলের গুণবাচক সংজ্ঞাও পাওয়া যায়, যদিও উহা দ্বারা বলের পরিমাপ পদ্ধতি পাওয়া যায় না। এই সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

তাহাকেই **বল** বলা হয়, যাহা কোন বস্তুর উপর প্রয়োগ করিলে উহার স্থির অবস্থার কিংবা সরলরৈখিক পথে সমবেগ অবস্থার পরিবর্তন করে কিংবা পরিবর্তন করিতে চেষ্টা করে।

4-3. নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রের আলোচনা ঃ এই সূত্রের সাহায্যে বলের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়। এই সূত্র অনুযায়ী, কোন বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তনের হার উহার উপর প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক হইবে [ভরবেগের সংজ্ঞা 3-3 (*e*) পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে]। এই সূত্র হইতে বল ($=P$) মাপিবার সমীকরণ [$P=mf$=বস্তুর ভর (m)× ত্বরণ (f)] নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায়।

m ভরের কোন বস্তুর উপর P পরিমাণ বল প্রয়োগ করার ফলে যদি কোন এক মুহূর্তে বস্তুর বেগ v হয় তাহা হইলে ঐ মুহূর্তে বস্তুর ভরবেগ হইবে mv। নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী,

$P\propto$ ভরবেগের পরিবর্তনের হার,

$\propto$ (mv)-এর পরিবর্তনের হার,

$\propto$ m (v-এর পরিবর্তনের হার) [কারণ m ধ্রুবক]

$\propto$ mf [কারণ v-এর পরিবর্তনের হার = ত্বরণ = f]

অথবা, $P=kmf$ [এখানে k একটি ধ্রুবক সংখ্যা]

যদি বলের একক এমনভাবে মনোনীত করা হয় যে উহা এক একক ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া এক একক ত্বরণ উৎপন্ন করে তাহা হইলে k-এর মান 1 হইবে। অর্থাৎ, যখন $m=1$, এবং $f=1$ তখন P-এর মান 1 ধরিলে k-এর মানও 1 হইবে। বলের একক এইভাবে স্থির করিলে আমরা পাই,

$P=mf$; অর্থাৎ, বল (P)=বস্তুর ভর (m)× উহার ত্বরণ (f) ··· (4-3*a*)

কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ (4-3a) সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যায়। নিউটনের প্রথম ও দ্বিতীয় সূত্রের সমন্বয়ে বলের যে পূর্ণসংজ্ঞা পাওয়া যায় তাহা নিম্নরূপ।

বলের পূর্ণসংজ্ঞা ঃ যাহা কোন বস্তুর স্থির অবস্থার বা সমবেগ অবস্থার পরিবর্তন করে বা পরিবর্তন করিতে চেষ্টা করে তাহাকে বল বলে এবং এই বলের পরিমাণ ($=mf$) বস্তুর ভর ($=m$) এবং বল দ্বারা সৃষ্ট বস্তুর ত্বরণের ($=f$) গুণফলের সহিত সমান হইবে।

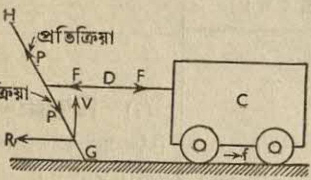
4-4. বলের বিভিন্ন এককের নাম, সংজ্ঞা এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ ঃ বিভিন্ন পদ্ধতিতে বলের বিভিন্ন প্রকার এককের নাম, তাহাদের সংজ্ঞা এবং পারস্পরিক সম্বন্ধ নীচের ছকে দেওয়া হইল যাহাতে সবগুলি এক নজরে পড়ে।

এককের প্রকার	সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এককের নাম ও সংজ্ঞা	এফ্. পি. এস. পদ্ধতিতে এককের নাম ও সংজ্ঞা।	পারস্পরিক সম্বন্ধ
চরম একক (Absolute unit)	**ডাইন** যে বল এক গ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 সে.মি. (প্রতি সেকেণ্ডে ^{2} ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে তাহাকে **ডাইন** বলে।	**পাউণ্ডাল** যে বল এক পাউণ্ড ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 ফুট (প্রতি সেকেণ্ডে)^2 ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে তাহাকে **পাউণ্ডাল** বলে।	**পাউণ্ডাল** = পাউণ্ড × 1 ফুট (প্রতি সেকেণ্ড)^2 $=(453{\cdot}6\times12\times2{\cdot}54)$ $=13825\ 7$ **ডাইন।**
ব্যবহারিক একক (Practical unit)	(i) **নিউটন** যে বল এক কিলোগ্রাম ভরের উপর ক্রিয়া করিয়া 1 মিটার (প্রতি সেকেণ্ড)^2 ত্বরণ সৃষ্টি করিতে পারে তাহাকে **নিউটন** বলে। (ii) **মেগাডাইন** 10^6 ডাইন বল লইয়া যে একক গঠিত হয় তাহাকে **মেগাডাইন** বলে।		(i) **নিউটন** = এক কিলোগ্রাম × এক মিটার (প্রতি সেকেণ্ড)^2 $=1000\times10^2$ $=10^5$ **ডাইন।** (ii) **মেগাডাইন** = 10^6 **ডাইন।**
মহাকর্ষীয় একক (gravitational unit)	**গ্রাম-ভার** একগ্রাম ভরের বস্তুকে পৃথিবী যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে **গ্রাম-ভার** (gms.-wt.) বলে। **গ্রাম-ভার=980 ডাইন।**	**পাউণ্ড-ভার** এক পাউণ্ড ভরের বস্তুকে পৃথিবা যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে **পাউণ্ড-ভার** (lbs.-wt.) বলে। **পাউণ্ড-ভার =32 পাউণ্ডাল।**	**পাউণ্ড-ভার** = $453{\cdot}6$ **গ্রাম-ভার** অথবা, **পাউণ্ড-ভার** $=453{\cdot}6\times980$ **ডাইন।**

4-5. নিউটনের তৃতীয় সূত্রের আলোচনা ঃ যখন কোন একটি বস্তু A, অপর একটি বস্তু B-এর উপর P পরিমাণ বল প্রয়োগ করে তখন নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী, B-ও A-এর উপর সমপরিমাণ (P) বল বিপরীত দিকে এবং একই সরলরেখায় ক্রিয়া করিবে। যে বল A-এর দ্বারা B-এর উপর প্রযুক্ত হইল তাহাকে ক্রিয়া (action) বলে এবং B-এর দ্বারা যে সমপরিমাণ বল A-এর উপর প্রযুক্ত হইল তাহাকে প্রতিক্রিয়া (reaction) বলে। যতক্ষণ A-এর ক্রিয়া থাকিবে ততক্ষণই B-এর প্রতিক্রিয়ার অস্তিত্ব থাকিবে। অতএব, **ক্রিয়া এবং প্রতিক্রিয়া দুইটি বিভিন্ন বস্তুর উপর প্রযুক্ত থাকিয়া একই সরল-রেখায় বিপরীত দিকে কাজ করে।** এই নিয়ম যে-কোন দুইটি বস্তুর ক্ষেত্রেই খাটিবে। বস্তু দুইটি সচল কিংবা নিশ্চল থাকিলেও অথবা উহারা সংস্পর্শে কিংবা দূরে থাকিলেও এই নিয়মের ব্যতিক্রম দেখা যায় না।

দৃষ্টান্ত ঃ (a) রাস্তায় গাড়ী টানার প্রতিক্রিয়া—যখন কোন ঘোড়া (H) একটি দণ্ডের (D) সাহায্যে একটি গাড়ীর (C) উপর F বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে টানিতে থাকে তখন গাড়ীও দণ্ডের সাহায্যে ঘোড়ার উপর বিপরীতমুখী F বল প্রয়োগ করে [নিউটনের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী]। তাহা হইলে গাড়ী চলে কিরূপে ?

গাড়ী টানিবার সময়, ঘোড়া পা দিয়া মাটির উপর তির্যকভাবে HG অভিমুখে P পরিমাণ বল প্রয়োগ করে যাহাকে ক্রিয়া বলে। এই বলের প্রতিক্রিয়া স্বরূপ, মাটিও ঘোড়ার উপর P পরিমাণ বিপরীতমুখী বল GH অভিমুখে প্রয়োগ করিবে [4.2 নং চিত্র]। এই প্রতিক্রিয়া বলের উল্লম্ব উপাংশ (V) খাড়া ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করিয়া ঘোড়ার ওজনকে নিষ্ক্রিয় করে এবং ঐ প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক উপাংশ (R) যখন গাড়ী এবং রাস্তার মধ্যের ঘর্ষণ বল (f) অপেক্ষা বেশী হইবে তখন গাড়ী চলিতে থাকিবে।



চিত্র 4.2 ঃ ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া

ঘোড়া দ্বারা গাড়ীকে রাস্তার উপর যে নিয়মে টানা হয় সেই একই নিয়মে মানুষও রাস্তায় হাঁটিয়া যায়।

(b) চলন্ত লিফ্‌টে প্রতিক্রিয়া।—লিফ্‌টে দণ্ডায়মান কোন লোকের ভর m হইলে উহার ওজন mg সর্বদা নীচের দিকে ক্রিয়া করে। লিফ্‌ট যখন f ত্বরণে চলিতে থাকে (হয় উপরের দিকে না হয় নীচের দিকে) তখন লোকটিও ঐ একই ত্বরণে (f) লিফ্‌টের সঙ্গে চলিতে থাকে। চলন্ত লিফ্‌ট যদি লোকটির উপর ঊর্ধ্বদিকে R পরিমাণ প্রতিক্রিয়া বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে লোকটির উপর

ক্রিয়াশীল লব্ধি বল হইবে হইবে (($R \sim mg$) যাহা নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী mf-এর সহিত সমান হইবে। সুতরাং $R \sim mg = mf$ ... (4 5a)

অনুসিদ্ধান্ত 1. লিফ্‌ট যখন f ত্বরণে উপরে উঠে তখন $R > mg$। কাজেই $R - mg = mf$; অথবা, $R = m(g+f)$। এক্ষেত্রে লিফ্‌টের প্রতিক্রিয়া বল লোকটিন ওজন ($= mg$) অপেক্ষা বেশী হইবে।

অনুসিদ্ধান্ত 2. লিফ্‌ট যখন f ত্বরণে নীচে নামে তখন $R < mg$। কাজেই $mg - R = mf$; অথবা, $R = m(g-f)$। এখানে লোকটির ওজন (mg) লিফ্‌টের প্রতিক্রিয়া বল R দ্বারা কিছুটা নিষ্ক্রিয় হয় বলিয়া, লিফ্‌ট নীচে নামিবার সময় লোকটি নিজেকে হাল্‌কা মনে করে। যদি লিফ্‌টের ত্বরণ $f = g$ হয় তাহা হইলে $R = 0$।

অনুসিদ্ধান্ত 3. যখন লিফ্‌ট সমবেগে উঠে কিংবা নামে তখন $f = 0$। এখানে উভয় ক্ষেত্রেই $R = mg$। অর্থাৎ লিফ্‌টের প্রতিক্রিয়া বল মানুষের ওজনের সমান।

4-6. বস্তুর উপর বলের বিভিন্ন প্রকার ক্রিয়া (Different effects of force on a body) : একটি বস্তুর উপর যখন অনেকগুলি বল প্রযুক্ত থাকে তখন (i) হয় বস্তুটি **সাম্য অবস্থায় থাকিবে,** (ii) না হয় উহার **গতি ত্বরান্বিত কিংবা মন্দীভূত হইবে।**

(i) যদি বস্তুটির উপর প্রযুক্ত বলগুলির কোন লব্ধিবল না থাকে তাহা হইলে বস্তুটি সাম্য অবস্থায় থাকিবে। কিন্তু এক্ষেত্রে প্রযুক্ত বলগুলি বস্তুর বিকৃতি ঘটাইবে। **যথা,**—যখন কোন ভারী লোহার বলকে ঘরের মেঝের উপর রাখা হয় তখন উহা সাম্য অবস্থায় থাকিলেও উহার ওজন খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিয়া মেঝের কিছু বিকৃতি ঘটায়। মেঝের বিকৃতি হওয়ায় উহার মধ্যে একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হইবে যাহা বলের ওজনকে নিষ্ক্রিয় করিবে এবং বলের কিছু বিকৃতিও ঘটাইবে।

(ii) আবার যদি বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলগুলির একটি লব্ধি বল পাওয়া যায় যাহার পরিমাণ P, তাহা হইলে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী বস্তু f ত্বরণে (কিংবা মন্দনে) চলিতে থাকিবে। **যথা.**—যখন রেলের এঞ্জিন, m ভরের গাড়ীগুলির উপর F পরিমাণ বল প্রয়োগ করিয়া উহাদিগকে টানিতে থাকে তখন F যদি সমস্ত বাধাসৃষ্টিকারী বল R অপেক্ষা বেশী হয় তাহা হইলে গাড়ীগুলি f ত্বরণে চলিতে থাকিবে যাহা নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী, সমীকরণ $F - R = mf$ দ্বারা স্থিরীকৃত হইবে। আর F যদি R অপেক্ষা কম হয় তাহা হইলে গাড়ীগুলি f মন্দনে চলিয়া পরে থামিয়া যাইবে।

4-7. বিভিন্ন নামে বলের প্রকাশ (Force expressed in different forms) : বলের প্রয়োগের ক্ষেত্র, পদ্ধতি, ধরন, প্রভৃতি বিভিন্ন হইলে বলের নামকরণও বিভিন্ন হইয়া থাকে যাহা নিম্নের আলোচনা হইতে বোঝা যাইবে।

(i) **ঘাত (Thrust) :** যদি কোন নির্দিষ্ট ক্ষেত্রফলের অভিলম্বের দিকে বল প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে সেই বলকে **ঘাত** বলে। যথা,—কোন পাত্রে তরল লইলে ঐ তরল পাত্রের তলের লম্বের দিকে বল প্রয়োগ করে যাহাকে তরলের ঘাত বলে।

(ii) **টান (Tension) :** যখন কোন বাস্তব মাধ্যমের মধ্য দিয়া (যেমন, সুতা কিংবা চেইন) অন্য একটি বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা হয় তখন ঐ প্রযুক্ত বলকে **টান** বলে। যথা—যদি দুইটি লোক একটি দড়ির দুই প্রান্ত ধরিয়া প্রত্যেকে বাহিরের দিকে T পরিমাণ বল দ্বারা টানিয়া দড়িটিকে স্থির রাখে তাহা হইলে দড়ির উপর টান হইবে T, কারণ দড়ির টান প্রত্যেক লোক দ্বারা প্রযুক্ত বলকে নিষ্ক্রিয় করিতেছে।

(iii) **ধাক্কা (Push) :** আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুইটি বস্তু, যখন পরস্পর পরস্পরের সংস্পর্শে আসে তখন উহাদের মধ্যের ক্রিয়া ও প্রতিক্রিয়ার ফলে বস্তু দুইটি পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চায়। এই অবস্থায় একটি বস্তু অপর বস্তুটির উপর যে বল প্রয়োগ করে তাহাকে **ধাক্কা** বলে। যথা—উপর হইতে কোন মার্বেল যখন মেঝের উপর পড়ে তখন মার্বেল মেঝের উপর যে বল প্রয়োগ করিল তাহাকে মার্বেল দ্বারা মেঝের উপর ধাক্কা বলে। মেঝে আবার মার্বেলের উপর ঊর্ধ্বদিকে একটি প্রতিক্রিয়া বল প্রয়োগ করিবে যাহার ফলে মার্বেলটি মেঝে হইতে কিছুদূর উপরে উঠিবে। এক্ষেত্রে মেঝে মার্বেলের উপর ধাক্কা দিতেছে।

(iv) **আকর্ষণ ও বিকর্ষণ (Attraction and Repulsion) :** যখন দুইটি বস্তুর মধ্যের ক্রিয়াশীল বল, বস্তু দুইটিকে পরস্পরের দিকে আগাইয়া আনে তখন সেই বলকে **আকর্ষণ-বল** বলে। যেমন, বিপরীত-আধানযুক্ত দুইটি বস্তুর (charged body) আকর্ষণ-বলের জন্য উহারা পরস্পরের কাছে আসে।

আবার যখন দুইটি বস্তুর মধ্যের ক্রিয়াশীল বল বস্তু দুইটিকে পরস্পর হইতে দূরে সরাইয়া দেয়, তখন সেই বলকে **বিকর্ষণ-বল** বলে। যেমন, সমআধানযুক্ত দুইটি বস্তু বিকর্ষণের জন্য উহারা পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যায়।

(v) **ঘর্ষণ (Friction) :** যখন দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুর মধ্যে আপেক্ষিক গতির সৃষ্টি করা হয় তখন উহাদের মিলনতলে একটি বিরুদ্ধবলের সৃষ্টি হয়, যাহা দুই বস্তুর আপেক্ষিক গতিকে নষ্ট করিতে চেষ্টা করে। এই বাধা-সৃষ্টিকারী বলকে **ঘর্ষণ** বলে।

4-8. বলের জ্যামিতিক প্রকাশ ও লব্ধিবলের সংজ্ঞা (Geometrical Representation of force and definition of resultant force) ঃ যেহেতু বল একটি ভেক্টর রাশি, সেই হেতু ভেক্টর রাশির জ্যামিতিক প্রকাশ যে ভাবে করা হয় সেইভাবে বলেরও জ্যামিতিক প্রকাশ করা যায় [3-6 পরিচ্ছেদ দেখ]।

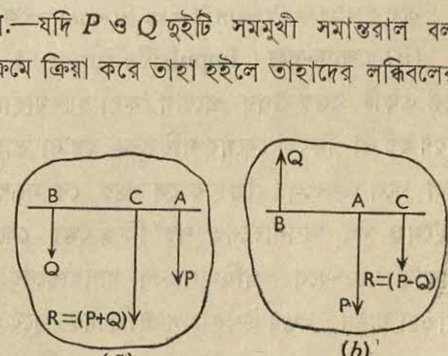
লব্ধি ভেক্টরের সংজ্ঞা যেভাবে দেওয়া হইয়াছে সেইভাবেই লব্ধিবলের সংজ্ঞা দেওয়া যায় [3-6 পরিচ্ছেদ দেখ]।

4-9. বলের সংযোজন ও বিয়োজন (Composition and and Resolution of forces) ঃ যেহেতু বল একটি ভেক্টর রাশি, সেইহেতু যে নিয়মে ভেক্টর রাশিগুলির সংযোজন ও বিয়োজন করা হইয়াছে সেই একই নিয়মে বলেরও সংযোজন এবং বিয়োজন করা যায় [3-7, 3-8 ও 3-11 পরিচ্ছেদগুলি দেখ]।

ভেক্টর সংযোজনের নিয়ম প্রয়োগ করিয়া [3-7, 3-8 ও 3-11 পরিচ্ছেদ] এক-বিন্দুতে ক্রিয়াশীল বলগুলির লব্ধিবল নির্ণয় করা যায় কিন্তু বলগুলি সমান্তরাল হইলে যে নিয়মে উহাদের লব্ধিবল নির্ণয় করা যায় তাহার বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

সমান্তরাল বলের সংযোজন দ্বারা লব্ধিবল নির্ণয় ঃ সমান্তরাল বল সমমুখী কিংবা বিপরীতমুখী হইতে পারে এবং উহাদের সংযোজনের নিয়মও বিভিন্ন।

(i) **সমমুখী সমান্তরাল বল।**—যদি P ও Q দুইটি সমমুখী সমান্তরাল বল ($P>Q$) বস্তুর A ও B বিন্দুতে যথাক্রমে ক্রিয়া করে তাহা হইলে তাহাদের লব্ধিবলের পরিমাণ হইবে $R=P+Q$ এবং R-এর অভিমুখ P কিংবা Q-এর অভিমুখের দিকে হইবে। R-এর প্রয়োগবিন্দু A ও B বিন্দুদ্বয়ের মাঝামাঝি স্থানে C বিন্দুতে থাকিবে যাহাতে $P.\ AC = Q.\ BC$ সমান হইতে পারে। অর্থাৎ R-এর প্রয়োগবিন্দু C, বড় বল P-এর দিকে থাকিবে [4.3 (a) নং চিত্র]।



চিত্র 4.3 ঃ সমান্তরাল বলের সংযোজন

বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল ঃ যদি P ও Q ($P>Q$) দুইটি বিপরীতমুখী সমান্তরাল বল যথাক্রমে বস্তুর A ও B বিন্দুতে ক্রিয়া করে তাহা হইলে উহাদের লব্ধি-বলের পরিমাণ হইবে $R=(P-Q)$। বড় বল P যে অভিমুখে ক্রিয়া করিতেছে R-ও সেইদিকে ক্রিয়া করিবে। এই লব্ধিবল R-এর প্রয়োগবিন্দু C, AB সরলরেখার

বাহিরে থাকিবে কিন্তু বড় বল P-এর প্রয়োগবিন্দু A-এর কাছে থাকিবে। C-এর অবস্থান এমন হইবে যাহাতে $P.\ AC = Q.\ BC$ সমান হইতে পারে [4.3 (b) নং চিত্র]।

4-10 বলপ্রকাশক ত্রিভুজ (Triangle of forces) ঃ বল একটি ভেক্টর রাশি, কাজেই 'ভেক্টর-প্রকাশক ত্রিভুজের' নীতি, বলপ্রকাশক ত্রিভুজের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হইবে [3-9 পরিচ্ছেদ দেখ]।

4-11. বলের ঘাত ও ঘাত-বল (Impulse of a force and Impulsive force) ঃ (i) যদি কোনও বল, নির্দিষ্ট সময়ের জন্য কোন বস্তুর উপর ক্রিয়া করে তাহা হইলে ঐ ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণ এবং বলের প্রযুক্ত সময়ের গুণফল দ্বারা **বলের ঘাতের** পরিমাপ স্থির করা হয়।

মনে কর P পরিমাণ বল, m ভরের কোন বস্তুর উপর t সেকেণ্ডের জন্য ক্রিয়া করিল। সুতরাং বলের ঘাত $= Pt$ ... ... (4-11a)

বল প্রয়োগের পূর্বে যদি বস্তুর বেগ u থাকে এবং t সেকেণ্ড ব্যাপী বল প্রয়োগের পর যদি উহার বেগ v হয় তাহা হইলে বলের দ্বারা সৃষ্ট বস্তুর ত্বরণ

$$= \frac{v-u}{t} = f \qquad \cdots \quad \cdots \quad (4\text{-}11b)$$

বলের ঘাত $= Pt = mft = m\ (v-u) =$ বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন ... (4-11c)

(ii) **ঘাত-বল** (Impulsive force) ঃ যদি খুব বৃহৎ বল **খুব অল্প সময়ের** জন্য একটি বস্তুর উপর প্রয়োগ করা হয় যাহাতে ঐ সময়ের জন্য বস্তুর কোনরূপ সরণ হয় না কিংবা বেগের পরিবর্তন হয় না তাহা হইলে ঐরূপ প্রযুক্ত বলকে **ঘাত-বল** বলে। বলের ক্রিয়াকালে বস্তুর কোনরূপ সরণ কিংবা বেগের পরিবর্তন না হইলেও বল অপসারণের পর কিন্তু বস্তুর বেগের পরিবর্তন হইবে। কাজেই এই প্রকার ঘাত-বলের পরিমাপ, বল অপসারণের পর বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন দ্বারা পাওয়া যায়। বস্তুর উপর বল প্রয়োগের পূর্বে এবং বল প্রয়োগের সময়ে যদি বস্তুর বেগ u থাকে এবং বল অপসারণের পর যদি বস্তুর বেগ v হয় তাহা হইলে

ঘাত-বল $= m\ (v-u)$, [এখানে $m =$ বস্তুর ভর] ... ... (4-11d)

4-12. রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র এবং তাহার প্রয়োগ (Principle of conservation of linear momentum and its application) ঃ

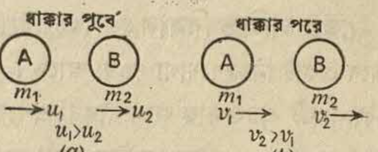
(a) (i) **রৈখিক ভরবেগ ঃ** (3-3e) পরিচ্ছেদে রৈখিক ভরবেগের সংজ্ঞা দেওয়া হইয়াছে এবং উদাহরণসহ উহার আলোচনাও করা হইয়াছে।

(ii) রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র : **এই সূত্রে বলা হয় যে, বাহির হইতে কোন বল প্রযুক্ত না হইলে দুইটি কিংবা ততোধিক বস্তুর পারস্পরিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার ফলে যে কোন দিকে উহাদের মোট ভরবেগের কোন পরিবর্তন হয় না।** অর্থাৎ, ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়ার পূর্বে এবং পরে বস্তুগুলির মোট ভরবেগ একই থাকিবে। যদি একটি নির্দিষ্ট দিকের ভরবেগ ধনাত্মক ধরা হয় (কারণ ভরবেগ ভেক্টর রাশি) তাহা হইলে উহার বিপরীত দিকের ভরবেগ ঋণাত্মক ধরিতে হইবে।

(b) (i) একই সরলরেখায় দুইটি চলন্ত বস্তুর ধাক্কা খাওয়ার সময় ঐ সূত্রের প্রয়োগ (Application in the case of elastic collisions of two bodies in a straight line) **:** মনে কর m_1 ও m_2 ভরের দুইটি মার্বেল A ও B, যথাক্রমে u_1 ও u_2 বেগে এক সরলরেখায় একই দিকে চলিতেছে। যদি $u_1>u_2$ তাহা হইলে A বল বেশী বেগে আসিয়া B বলকে ধাক্কা দিবে [4.4 (a) নং চিত্র]। এই ধাক্কা খাইবার পূর্ব মুহূর্তে উহাদের মোট ভরবেগ হইবে, $m_1u_1+m_2u_2$ ···(4-12a)

দুইটি বলেরই বেগ (u_1 ও u_2) একই দিকে থাকায় উহাদের উভয়েরই ভরবেগ ধনাত্মক (positive) ধরা হইল।

বল দুইটি ধাক্কা খাইবার পরও যদি উহারা ঐ একই সরলরেখায় একই দিকে চলিতে থাকে তাহা হইলে A বলের বেগ u_1 হইতে কমিয়া v_1-এ দাঁড়াইবে এবং B বলের বেগ u_2 হইতে বাড়িয়া v_2-তে দাঁড়াইবে [4.4 (b)নং চিত্র]। যেহেতু বল দুইটি ধাক্কা খাইবার পরও উহারা পূর্বের সরলরেখায় একইদিকে চলিতেছে সেইহেতু উহাদের উভয়ের ভরবেগ এবারেও ধনাত্মক হইবে।



চিত্র 4.4 : বলের স্থিতিস্থাপক ধাক্কা

ধাক্কা খাইবার পর বল দুইটির মোট ভরবেগ হইবে $(m_1v_1+m_2v_2)$ ··· (4-12b)
রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী আমরা লিখিতে পারি,

$$m_1u_1+m_2u_2=m_1v_1+m_2v_2 \quad \cdots \quad \cdots \quad (4\text{-}12c)$$

বল দুইটির ধাক্কা খাইবার পর যদি A বলের বেগ v_1, উহার পূর্বের গতিবেগ u_1-এর অভিমুখের বিপরীত দিকে হয় তাহা হইলে m_1v_1-কে ঋণাত্মক (negative) ধরিতে হইবে। এক্ষেত্রে (4-12c) সমীকরণে এই ভরবেগের উপযুক্ত চিহ্ন বসাইতে হইবে।

(ii) **বন্দুক ছোঁড়ার ক্ষেত্রে ঐ সূত্রের প্রয়োগ :** বন্দুক হইতে গুলি ছোঁড়ার পূর্বে বন্দুক এবং গুলি উভয়েরই বেগ শূন্য ছিল। অতএব উহাদের প্রাথমিক

ভরবেগের মোট পরিমাণ শূন্য হইবে। গুলি ছোঁড়ার পর যদি m ভরের গুলির সামনের দিকে বেগ v হয় তাহা হইলে সামনের দিকে গুলির ভরবেগ হইবে mv।

বন্দুকের নল হইতে গুলি যখন বাহির হইবে তখন ঐ গতিশীল গুলি, M ভরের বন্দুকের উপর একটি প্রতিক্রিয়া বল প্রয়োগ করিবে যাহার ফলে বন্দুক পিছনের দিকে V বেগে সরিয়া যাইতে চেষ্টা করিবে। এজন্য বন্দুকের ভরবেগ হইবে $(-MV)$। অতএব, গুলি এবং বন্দুকের অন্তিম ভরবেগের মোট পরিমাণ হইবে $(mv-MV)$। রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী আমরা লিখিতে পারি, $mv-MV=0$;

অথবা $mv=MV$ ... ... (4-12*d*)

এখানে গুলির ভর m অপেক্ষা বন্দুকের ভর M অনেক বেশী, এজন্য বন্দুক পিছনের দিকে যে V বেগে সারিতে চেষ্টা করিবে তাহা গুলির বেগ v অপেক্ষা অনেক কম হইবে।

4-13. জেট ও রকেট পরিচালন (Jet and Rocket propulsion) (a) জেট পরিচালন (Jet-propulsion): নীতি:— একটি আবদ্ধ প্রকোষ্ঠের মধ্যে কোন জ্বালানীকে (fuel) জ্বালাইয়া যদি খুব উচ্চ চাপের গ্যাস সৃষ্টি করা হয় এবং ঐ উচ্চ চাপের গ্যাসকে প্রকোষ্ঠের কোন সরু ছিদ্র দিয়া খুব বেগে নির্গত হইতে দেওয়া হয় তাহা হইলে ঐ নির্গত গ্যাসের প্রতিক্রিয়ায় প্রকোষ্ঠটি নিজে গ্যাসের গতির বিপরীতদিকে খুব বেগে চলিতে থাকিবে। প্রকোষ্ঠটির এইরূপ উচ্চ গতি সৃষ্টি করিবার পদ্ধতি, দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুর ক্ষেত্রে প্রযোজ্য রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্রের নীতির দ্বারাই নিয়ন্ত্রিত হইয়া থাকে।

জেট-চালিত বিমান: জেট-বিমানের পশ্চাতে একটি প্রকোষ্ঠ থাকে যাহার শেষে একটি নিয়ন্ত্রণযোগ্য দরজা আছে। এই প্রকোষ্ঠের মধ্যে উচ্চ চাপের বাতাস এবং একটি প্রচণ্ড দাহ্য জ্বালানীর মিশ্রণকে চালনা করা হয়। ঐ মিশ্রণকে প্রচণ্ড শব্দ সহকারে জ্বালাইলে যে উচ্চ চাপে গ্যাসের সৃষ্টি হয় তাহাকে ঐ নিয়ন্ত্রণযোগ্য দরজা দিয়া নির্গত হইতে দেওয়া হয়। এই নির্গত গ্যাসের প্রতিক্রিয়ায় বিমান সামনের দিকে চলিতে থাকে। এইভাবে দাহ্য জ্বালানী-মিশ্রিত উচ্চ চাপের বাতাসকে প্রকোষ্ঠের মধ্যে খুব ঘন ঘন চালনা করিয়া জ্বালানো হয় যাহার নির্গমনের প্রতিক্রিয়ার ধাক্কায় বিমানটি সামনের দিকে প্রচণ্ড বেগে আগাইতে থাকে। এইভাবে এক সেকেণ্ডের মধ্যে বহু সংখ্যক বার জ্বালানীকে শব্দ-সহকারে জ্বালানো হয় যাহাতে বিমানটি দ্রুত গতিতে চলিতে পারে।

(b) **রকেট-পরিচালন (Rocket-propulsion):** জেট-পরিচালন যে নীতি দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় রকেট-পরিচালনও প্রায় অনুরূপ নীতি দ্বারাই পরিচালিত হইয়া থাকে। এই পরিচালনে, জ্বালানীতে কোন বাতাস মিশ্রিত থাকে না।

এখানে যে জ্বালানী ব্যবহৃত হয় তাহা অ্যালকোহল ও তরল অক্সিজেনের মিশ্রণ, যাহাকে রাসায়নিক জ্বালানী (chemical fuel) বলে। এইরূপ রকেটের সাহায্যে মানুষসহ চন্দ্রযানকে চাঁদে লইয়া যাওয়া এবং চন্দ্রপৃষ্ঠে স্থাপন করা সম্ভব হইয়াছে। আবার মানববিহীন রকেটকে শুক্র ও মঙ্গল গ্রহে পাঠাইয়া উহাদের সম্বন্ধে নানারূপ তথ্য জানিবার চেষ্টাও হইতেছে। ইহা দ্বারা জানা গিয়াছে শুক্রপৃষ্ঠের তাপমাত্রা প্রায় $500^\circ C$।

4-14 ঘর্ষণ (Friction) ঃ যতই চেষ্টা করা যাক্ না কেন, কোন কঠিনের পৃষ্ঠতলকে সম্পূর্ণরূপে মসৃণ করা যায় না। পৃষ্ঠতলটি বেশী-কম অমসৃণ থাকিবেই। এজন্য দুইটি পরস্পর সংলগ্ন বস্তুর একটিকে স্থির রাখিয়া, অপরটির উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে চালাইতে চেষ্টা করিলে, ঐ দুই কঠিনের মিলনতলের স্পর্শকের দিকে একটি বিরুদ্ধ বল আপনাআপনি সৃষ্ট হয় যাহা ঐ দুই বস্তুর মধ্যের আপেক্ষিক গতিকে প্রতিরোধ করিতে চেষ্টা করে। প্রথম বস্তুর উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের পরিমাণ ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে বাধা সৃষ্টিকারী বলেরও পরিমাণ বাড়িয়া উহাদের মধ্যে আপেক্ষিক গতি হইতে দেয় না। কিন্তু প্রথম বস্তুর উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বল যখন একটি উচ্চসীমা অতিক্রম করে তখন দুই বস্তুর মধ্যের আপেক্ষিক গতির বাধাসৃষ্টিকারী বল আর বাড়িতে পারে না এবং তখন প্রথম বস্তুটি দ্বিতীয় বস্তুর উপর চলিতে থাকে। দুই বস্তুর আপেক্ষিক গতির বাধাসৃষ্টিকারী বলের নামই **ঘর্ষণ**। অতএব বলা যাইতে পারে,

আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুইটি পরস্পর-সংলগ্ন বস্তুর মিলনতলের স্পর্শকের দিকে যে বিরুদ্ধবল ক্রিয়া করিয়া দুই বস্তুর আপেক্ষিক গতিকে নষ্ট করিতে চেষ্টা করে তাহাকে ঘর্ষণ বলে।

পরস্পর সংলগ্ন দুইটি বস্তুর মধ্যের ঘর্ষণের পরিমাণ নির্ভর করে, (i) পদার্থের প্রকৃতির উপর (বস্তুদ্বয় কাঠ, লোহা, চামড়া, প্রভৃতি হইতে পারে), (ii) বস্তুদ্বয়ের মিলনতলের প্রকৃতির উপর (তলদ্বয় মসৃণ কিংবা অমসৃণ হইতে পারে) এবং (iii) উহাদের চলনের প্রকৃতির উপর (একটি বস্তু অপরটির উপর ঘষ্‌ড়াইয়া কিংবা গড়াইয়া চলিতে পারে)।

4-15. বিভিন্ন প্রকার ঘর্ষণ (Different kinds of friction) ঃ

(a) **স্থিত-ঘর্ষণ ও উহার সর্বোচ্চ-সীমা** (Static friction and its limiting value) ঃ অমসৃণ তলে অবস্থিত কোন বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে চালাইতে চেষ্টা করিলে যদি বস্তুর সরণ না হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ঐ বাহ্যিক বলকে নিষ্ক্রিয় করিবার জন্য যতটুকু বিপরীত বল প্রয়োজন ততটুকু ঘর্ষণ বল দুই বস্তুর মিলনতলের স্পর্শকের দিকে সৃষ্টি হইয়াছে। এই ঘর্ষণ বল, যাহা

বস্তুর গতিরোধ করিল তাহাকে **স্থিত-ঘর্ষণ** (static friction) বলে। বস্তুর উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বল বাড়াইলে উহাদের মধ্যের ঘর্ষণবলও বাড়িয়া এমন পরিমাণে আসিবে যাহাতে বস্তুদ্বয়ের আপেক্ষিক গতি রোধ করিতে পারে। অতএব বলা যাইতে পারে যে, ঘর্ষণ একটি স্বয়ং-নিয়ন্ত্রিত বল যাহা দুই বস্তুর মধ্যের আপেক্ষিক গতি রোধ করিতে চেষ্টা করে। বস্তুর উপর বাহ্যিক বল ক্রমশ বাড়াইতে থাকিলে ঘর্ষণ বল একটি নির্দিষ্ট উচ্চসীমা পর্যন্ত বাড়িয়া বাহ্যিক বলকে নিষ্ক্রিয় করিতে পারিবে কিন্তু নির্দিষ্ট উচ্চসীমার পর ঘর্ষণ বল আর বাড়িতে পারে না। বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল যখন বস্তুদ্বয়ের মধ্যস্থ ঘর্ষণ বলের উচ্চ সীমার বেশী হয় তখন বস্তুর সরণ হইতে থাকে। বস্তু দুইটির আপেক্ষিক গতি আরম্ভ হইবার ঠিক পূর্বমুহূর্তে উহাদের মধ্যে যে সর্বোচ্চ স্থিতঘর্ষণ থাকে তাহাকে বস্তু দুইটির মধ্যের **স্থিত-ঘর্ষণের 'সর্বোচ্চ-সীমা'** (limiting force of static friction) বলে।

(b) **চল-ঘর্ষণ** (Kinetic friction) : অমসৃণ তলে অবস্থিত কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ যখন বস্তুদ্বয়ের মধ্যস্থ স্থিত-ঘর্ষণের সর্বোচ্চ সীমার বেশী হয় তখন উহাদের মধ্যে আপেক্ষিক গতি হইতে থাকে। দেখা গিয়াছে যে কোন বস্তুকে অপর বস্তুর উপর চলন আরম্ভ করিতে যে বলের প্রয়োজন হয় ঐ চলন বজায় রাখিতে তাহা অপেক্ষা কম বলের প্রয়োজন হয়। **আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুই বস্তুর মধ্যে যে ঘর্ষণ-বল থাকে তাহাকে চল-ঘর্ষণ বলে** যাহা স্থিত-ঘর্ষণের সর্বোচ্চ সীমা অপেক্ষা সামান্য কম।

এক বস্তুর উপর অন্য বস্তুর চলন দুই প্রকারের হইতে পারে। বস্তুটি ঘষ্ড়াইয়া চলিতে পারে কিংবা গড়াইয়া যাইতে পারে। যখন একটি বস্তুর উপর অপর বস্তু ঘষ্ড়াইয়া চলে তখন উহাদের মধ্যে যে ঘর্ষণ বল ক্রিয়া করে তাহাকে **স্লাইডিং-ঘর্ষণ** (Sliding Friction) বলে। আর যদি একটি বস্তু অপরটির উপর গড়াইয়া চলে তাহা হইলে উহাদের মধ্যে যে ঘর্ষণ বল ক্রিয়া করে তাহাকে **আবর্ত-ঘর্ষণ** (Rolling Friction) বলে। আবর্ত-ঘর্ষণে যে বিরুদ্ধ বল ক্রিয়া করে, তাহা স্লাইডিং-ঘর্ষণে উদ্ভূত বিরুদ্ধ বল অপেক্ষা অনেক কম হয়।

4-16. ঘর্ষণের কারণ এবং উহা কমাইবার পদ্ধতি (Cause of friction and methods of reducing friction) :

(a) **ঘর্ষণের কারণ :** একটি তলকে যতই মসৃণ করা হউক না কেন উহাতে উঁচু-নীচু থাকিবেই। যখন একটি বস্তু অপরটির উপর ঘষ্ড়াইয়া চলে তখন একটির উঁচু অংশ অপরটির নীচু অংশের মধ্যে ঢুকিয়া যায় যাহার ফলে বস্তুটি চলিতে বাধা পায় এবং স্লাইডিং ঘর্ষণের সৃষ্টি হয়। আবার দুই বস্তুর কণাগুলির মধ্যে

যে আকর্ষণ থাকে তাহার জন্যও বস্তুদ্বয়ের আপেক্ষিক গতি বাধাপ্রাপ্ত হয় এবং **স্লাইডিং-ঘর্ষণের** সৃষ্টি হয়।

আবার যখন একটি বস্তু অপরটির উপর গড়াইয়া চলে তখন বস্তুর সংলগ্ন তলটি সামান্য নীচু হয় এবং উহার ঠিক সামনের অংশ সামান্য উঁচু হয়। বস্তুটি যখন গড়াইয়া চলে তখন উহাকে অনবরত এই উঁচু অংশকে অতিক্রম করিয়া চলিতে হয় যাহার ফলে **আবর্ত-ঘর্ষণের** সৃষ্টি হয়।

(b) **ঘর্ষণ কমাইবার পদ্ধতি ঃ** আপেক্ষিক গতি সম্পন্ন দুইটি বস্তুর সংস্পৃষ্ট তলদ্বয়ের মধ্যে ঘর্ষণ-বলের উপস্থিতির জন্য ঐ তলদ্বয় ক্ষয় প্রাপ্ত হয় এবং প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয়। এই ক্ষয় নিবারণের জন্য তল দুইটিকে খুব পালিশ করিলে উহাদের বন্ধুরতা কিছুটা কমার জন্য ঘর্ষণও কিছুটা কমে কিন্তু একেবারে ঘর্ষণ-শূন্য করা যায় না। এজন্য আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুই তলের মাঝে যদি কোন পিচ্ছিল তেল (lubricating oil) কিংবা কঠিন পদার্থের গুঁড়া (যেমন, গ্র্যাফাইটের গুঁড়া) প্রবেশ করাইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে ঐ তলদ্বয়ের মধ্যে ঘর্ষণ কমিয়া যায়। ঐ পিচ্ছিল তেল (যাহা খনিজ ও উদ্ভিজ্জ তেলের মিশ্রণ) গতিশীল তলদ্বয় হইতে অপসৃত হয় না এবং তল দুইটিকে পৃথক করিয়া রাখে, যাহার ফলে ঘর্ষণ কম হয়। যখন দুই তলের ফাঁকে গ্র্যাফাইটের গুঁড়া দেওয়া হয় তখন ঐ গুঁড়াগুলি তলদ্বয়ের মাঝে রোলারের মত কাজ করে, যাহার ফলে ঘর্ষণ কম হয়। আবার স্লাইডিং-ঘর্ষণ অপেক্ষা আবর্ত-ঘর্ষণের পরিমাণ অপেক্ষাকৃত কম, এজন্য স্লাইডিং-ঘর্ষণকে অনেক সময় আবর্ত-ঘর্ষণে রূপান্তরিত করা হয়। এই উদ্দেশ্যে, বিভিন্ন যন্ত্রে মিশ্র ধাতুতে প্রস্তুত বিয়ারিং (ball bearing কিংবা roller bearing) ব্যবহার করা হয়। গড়াইয়া চলিবার জন্য যে চাকা ব্যবহার করা হয় তাহার ব্যাস যত বড় হইবে আবর্ত-ঘর্ষণও তত কম হইবে।

4-17. ঘর্ষণের ফল (Effects of friction) ঃ আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুই সংস্পৃষ্ট তলের মধ্যে ঘর্ষণের উপস্থিতি যে শুধু অসুবিধার সৃষ্টি করে তাহাই নয়, ইহা দ্বারা দৈনন্দিন জীবনে আমরা অনেক সুবিধাও পাইয়া থাকি।

সুবিধা ঃ বেল্টের সাহায্যে যন্ত্রপাতি ঘুরানো ঘর্ষণ থাকার জন্যই সম্ভব হয়। আবার রাস্তায় হাঁটা কিংবা দৌড়ানোর সুবিধা হয় এই ঘর্ষণ থাকার জন্যই। একটি তৈলসিক্ত মার্বেল মেঝের উপর দৌড়াইতে গেলে আমরা পড়িয়া যাই কারণ সেখানে ঘর্ষণ বল কম, কিন্তু মাঠে দৌড়াইতে গেলে পড়িয়া যাই না কারণ সেখানে ঘর্ষণ বল বেশী। আবার গাড়ীর চাকা এবং রাস্তার মধ্যে ঘর্ষণ আছে বলিয়াই গাড়ী জোরে চালান যায়। যদি রাস্তার কোন জায়গায় কাদা থাকে সেখানে গাড়ীর চাকা ঘুরিতে থাকে কিন্তু গাড়ী সামনের দিকে চলে না কারণ গাড়ীর

চাকা এবং কাদামাখা পিচ্ছিল রাস্তার মধ্যে ঘর্ষণ কম থাকায় গাড়ী আগাইয়া যাইতে পারে না। ঘর্ষণ না থাকিলে রেলগাড়ীকে লাইনের উপর দিয়া চালানো সম্ভব হইত না; পেরেক, স্ক্রু প্রভৃতি কাঠে লাগিত না; ব্রেক দ্বারা গাড়ী থামান যাইত না, ইত্যাদি।

অসুবিধা : আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুই সংস্পষ্ট তলের মধ্যে ঘর্ষণ থাকায় প্রচুর তাপ উৎপন্ন হয় এবং তল দুইটি ক্ষয়প্রাপ্ত হয়। কাজেই তাপ ও ক্ষয় নিবারণ করিবার জন্য যন্ত্রপাতির চলনক্ষম অংশের মধ্যে নানা পদ্ধতিতে ঘর্ষণ কমাইয়া দেওয়া হয়। আবার ঘর্ষণ, দুই বস্তুর মধ্যের আপেক্ষিক গতি কমাইবার চেষ্টা করে এজন্য বস্তুদ্বয়ের আপেক্ষিক গতি বজায় রাখিতে কিছু শক্তি ব্যয়িত হয়। ইহার ফলে যন্ত্রের কার্যকারী শক্তি (efficiency) কিছুটা কমিয়া যায়।

4-18. ঘর্ষণের নিয়মাবলী এবং তাহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Laws of friction and their experimental demonstration) ঃ

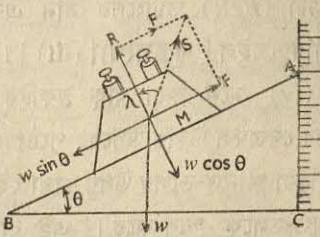
(*a*) **ঘর্ষণের নিয়মাবলী :** (*i*) ঘর্ষণবল সর্বদা বস্তুর গতির বিরুদ্ধে ক্রিয়া করে। (*ii*) স্থিত-ঘর্ষণ যতক্ষণ না তাহার সর্বোচ্চ সীমায় পৌঁছায় ততক্ষণ পর্যন্ত উহা এমন পরিমাণে সৃষ্ট হয় যাহা দুই বস্তুর আপেক্ষিক গতিকে রোধ করিতে সমর্থ হয়; অর্থাৎ স্থিত-ঘর্ষণ একটি স্বয়ং-নিয়ন্ত্রিত আপেক্ষিক গতি-প্রতিরোধকারী বল। (*iii*) বস্তুদ্বয়ের আপেক্ষিক গতি আরম্ভ হইবার ঠিক পূর্বমুহূর্তে যে ঘর্ষণ বল ক্রিয়া করে তাহাকে **স্থিত ঘর্ষণের সর্বোচ্চ-সীমা** (limiting force of static friction) বলে যাহা সংস্পৃষ্ট তলদ্বয়ের লম্বের দিকের প্রতিক্রিয়া বলের সমানুপাতিক। অর্থাৎ, দুই সংপৃষ্টতলের মধ্যে যদি সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বল F হয় এবং তলদ্বয়ের লম্বের দিকে প্রতিক্রিয়া বল যদি R হয় তাহা হইলে $(F/R)=\mu=$ ধ্রুবক। এই ধ্রুবক সংখ্যা μ-কে **ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক** (co-efficient of friction) বলে। (*iv*) কোন নির্দিষ্ট লম্ব-প্রতিক্রিয়া বলের জন্য ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক কেবল মাত্র সংস্পৃষ্ট তলদ্বয়ের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে উহাদের, ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না।

ঘর্ষণ বলের উচ্চসীমা (F) এবং লম্বপ্রতিক্রিয়া বলের (R) সংযোজনের ফলে যে লব্ধিবল (S) পাওয়া যায় তাহাকে **লব্ধি প্রতিক্রিয়া বল** (Resultant reaction) বলে এবং ইহা লম্বপ্রতিক্রিয়া বলের সহিত যে কোণ (λ) করে তাহাকে **ঘর্ষণ-কোণ** (angle of friction) বলে। 4.5 নং চিত্র হইতে দেখা যায় যে, $\tan\lambda=F/R=\mu=$ ঘর্ষণ গুণাঙ্ক।

(b) **ঘর্ষণের নিয়মগুলির পরীক্ষা মূলক প্রমাণ :** ঘর্ষণের নিয়মাবলী প্রমাণ করিবার জন্য যে যন্ত্রের প্রয়োজন হয় তাহার উল্লম্বচ্ছেদ 4.5 নং চিত্রে দেখানো

হইল। ইহাতে একটি আনত-তলকে (AB) কব্জা দ্বারা অপর একটি অনুভূমিক তলের (BC) সহিত যুক্ত করিয়া রাখা হইয়াছে। আনত-তলের উপর প্রান্ত (A) একটি উল্লম্ব স্কেল (AC) বরাবর উঠানো বা নামানো কিংবা যে কোন স্থানে স্থির রাখা যায়।

পরীক্ষা : (i) একটি কাঠের ব্লককে (M) আনত-তলের মধ্যস্থানে বসাইয়া ব্লকের উপর কিছু ভার চাপানো হইল। উহাদের মোট ওজন (ব্লকের ওজন + ভারের ওজন) w হইলে উহার একটি উপাংশ $w \sin\theta$ আনত তলের সমান্তরালে নীচের দিকে ক্রিয়া করিয়া ব্লককে নীচে নামাইতে চেষ্টা করিতেছে। কিন্তু ব্লক ও আনত-তলের মিলন তলে ঘর্ষণ বল (F) ক্রিয়া করিয়া ব্লককে নীচে যাইতে বাধা দিতেছে। কাজেই প্রমাণিত হইল যে, ঘর্ষণ বল সর্বদা বস্তুর গতির বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে [**সূত্র সংখ্যা (i)**]।



চিত্র 4.5 : আনত ঘর্ষণ-তল

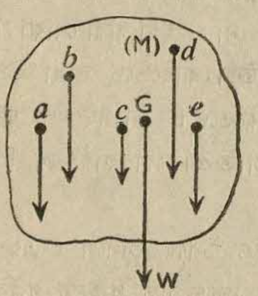
(ii) আনত-তল (AB) অনুভূমিক তলের (BC) সহিত যে কোণ ($\angle ABC = \theta$) করিয়া আছে তাহাকে আনত কোণ বলে। আনত-তলের **A**-প্রান্ত ক্রমশঃ উপরের দিকে তুলিতে থাকিলে θ-এর মান বৃদ্ধি পাইয়া ব্লককে নীচে নামাইবার ক্রিয়াশীল বল $w \sin\theta$-এর পরিমাণ বৃদ্ধি পাইবে। দেখা যাইবে যে ব্লককে নীচে নামাইবার বলের পরিমাণ বৃদ্ধি করিলেও উহা নীচে নামিতেছে না। ইহা দ্বারা বোঝা গেল যে আনত-তলের উপরের দিকে যে ঘর্ষণ বল (F) ক্রিয়া করিতেছে তাহা উপযুক্ত পরিমাণে বৃদ্ধি পাইয়া ব্লকের নিম্নগতিকে রোধ করিতেছে। কাজেই বলা যাইতে পারে যে ঘর্ষণ একটি স্বয়ং-নিয়ন্ত্রিত আপেক্ষিক গতি-প্রতিরোধকারী বল [**সূত্র সংখ্যা (ii)**]।

(iii) আনত-তলের উপর প্রান্তকে (A) আরও উপরে তুলিলে θ-এর মান বৃদ্ধি পাইবে এবং ব্লককে নীচে নামাইবার ক্রিয়াশীল বলও বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। যখন θ-এর মান একটি নির্দিষ্ট উচ্চসীমায় আসিবে তখন ঘর্ষণ বলও একটি উচ্চসীমায় পৌঁছিয়া আনত-তলের উপরের দিকে (এবং তলের সমান্তরালে) ক্রিয়া করিয়া ব্লকের উপর ক্রিয়াশীল নীচের দিকের বল $w \sin\theta$-কে সবেমাত্র নিষ্ক্রিয় করিতে পারিতেছে। আনত-তলকে আর সামান্য উঠাইলেই $w \sin\theta$ ঘর্ষণের উচ্চসীমার (F) বেশী হইয়া যাইবে এবং ব্লকটি নীচের দিকে নামিতে থাকিবে। ব্লকটির গতি আরম্ভ হইবার ঠিক পূর্ব মুহূর্তে ব্লক এবং আনত-তলের মধ্যে যে ঘর্ষণ বল (F) ক্রিয়া করিতেছে তাহাকে **স্থিত-ঘর্ষণের সর্বোচ্চ-সীমা** (limiting force of static

friction) বলে। ব্লকের এই সাম্য অবস্থায়, সর্বোচ্চ ঘর্ষণ বল $F = w \sin \theta$ এবং লম্বপ্রতিক্রিয়া বল $R = w \cos \theta$। অতএব $F/R = \tan \theta = \frac{AC}{BC}$ = ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক μ = ধ্রুবক। এক্ষণে কাঠের ব্লকের উপর আরও বিভিন্ন পরিমাণের ভার চাপাইয়া পূর্বের পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে $\frac{AC}{BC} = \mu$ একই থাকিতেছে। অর্থাৎ, লম্বপ্রতিক্রিয়া বল (R) বাড়াইলে ঘর্ষণ বলও (F) সমানুপাতে বাড়িয়া (F/R) ভগ্নাংশের মান একই রাখিতেছে। ইহা দ্বারা ঘর্ষণের তৃতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল [**সূত্রসংখ্যা** (iii)]।

(iv) মনে করা যাক্ ব্লকটির দুই-পৃষ্ঠের মসৃণতা একই প্রকার কিন্তু নীচের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল উহার উপরের পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা অনেক বেশী। এইবার ব্লকটি উল্টাইয়া আনত-তলের উপর রাখা হইল যাহাতে উহার কম ক্ষেত্রফলবিশিষ্ট তলটি আনত-তলকে স্পর্শ করে। এই ব্যবস্থায় পূর্ববর্তী পরীক্ষাগুলি পুনরায় করিলে দেখা যাইবে যে এবারও (AC/BC)-এর মান একই ($=\mu$) থাকিতেছে। অতএব, তলদ্বয়ের প্রকৃতি ঠিক থাকিলে ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক (μ) তলদ্বয়ের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে না [**সূত্র সংখ্যা** (iv)]।

4-19. বস্তুর ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র (Centre of mass and centre of gravity of a body) : (i) **ভরকেন্দ্র** (mass-centre) :



চিত্র 4.6 : ভর ও ভার কেন্দ্র

একটি বস্তুকে অনেকগুলি বস্তুকণার (a, b, c প্রভৃতি) সমষ্টি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে [4.6নং চিত্র]। যদি এই কণাগুলির উপর উহাদের ভরের সমানুপাতিক সমান্তরাল বল কল্পনা করা যায় তাহা হইলে ঐ সমান্তরাল বলগুলির লব্ধি বল বস্তুর সব অবস্থানে যে নির্দিষ্ট বিন্দুর (G) মধ্য দিয়া যাইবে সেই বিন্দুকে বস্তুর **ভরকেন্দ্র** (mass-centre) বলে। মনে করা যাইতে পারে যে বস্তুর সমস্ত ভর ($=M$) ঐ ভরকেন্দ্রে ঘনীভূত হইয়া আছে [4.6নং চিত্র]।

(ii) **ভারকেন্দ্র** (Centre of gravity) : কোন বস্তুর মধ্যে যে বহুসংখ্যক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা (a, b, c, প্রভৃতি) থাকে তাহাদের প্রত্যেককে পৃথিবী তাহার কেন্দ্রের দিকে সর্বদা একটি বল দ্বারা আকর্ষণ করিতেছে ; যে বলের পরিমাণ কণার ভরের সমানুপাতিক (একটি নির্দিষ্ট স্থানে)। কণাগুলির উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলকে উহাদের **ওজন** বলে। সাধারণতঃ বস্তুর আয়তন ও আকার পৃথিবীর আয়তন

ও আকার অপেক্ষা অনেক ক্ষুদ্র হয়, এজন্য বস্তুটির প্রত্যেকটি কণা হইতে পৃথিবীর কেন্দ্র বহুদূরে থাকিবে। সুতরাং প্রত্যেকটি বস্তুকণার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল (যাহা কণার ওজন হইবে) পরস্পর সমান্তরাল থাকিবে এবং খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিবে।

বস্তুর বিভিন্ন কণাগুলির উপর যে সব সমান্তরাল অভিকর্ষ-বল খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে তাহাদের লব্ধিবলের পরিমাণই হইবে **বস্তুর ওজন** ($=W$) যাহা সর্বদা খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করে। বস্তুর এই ওজন (W), উহার সর্ব-অবস্থানে, যে একটি বিশিষ্ট বিন্দুর (G) মধ্য দিয়া সর্বদা অতিক্রম করে তাহাকে বস্তুর **ভারকেন্দ্র** (Centre of gravity) বলে। বস্তু ছোট হইলে উহার ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র একই বিন্দু হইবে।

কিন্তু বস্তুর আকার ও আয়তন যদি **খুব বড়** হয় তাহা হইলে উহার বিভিন্ন কণাগুলির উপর অভিকর্ষ বলের রেখাগুলি পরস্পর সমান্তরাল হইবে না। এই রেখাগুলি পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে মিলিত হইতে যাইবে। বস্তুর বিভিন্ন কণাগুলির উপর ক্রিয়াশীল এই অসমান্তরাল অভিকর্ষ বলগুলির লব্ধিবলই হইবে **বস্তুর ওজন**। বস্তুর এই ওজন, উহার সর্ব-অবস্থানে, যে একটি বিশিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে সেই বিন্দুই বস্তুর ভারকেন্দ্র হইবে। এখানে বিভিন্ন কণাগুলির উপর অভিকর্ষ বল অসমান্তরাল হওয়ায় বস্তুর ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র দুইটি বিভিন্ন বিন্দু হইবে।

ভারকেন্দ্রের সংজ্ঞা ঃ কোন বস্তুর আয়তন ও আকার অপরিবর্তিত থাকিলে উহার যাবতীয় কণাগুলির উপর ক্রিয়াশীল অভিকর্ষ বলগুলির লব্ধিবল, বস্তুর সর্ব-অবস্থানে যে একটি বিশিষ্ট বিন্দুর মধ্য দিয়া যাইবে তাহাকে বস্তুর **ভারকেন্দ্র** বলে। বস্তুর মোট ওজন উহার ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া পৃথিবীর কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করিবে।

জ্যামিতিক আকার বিশিষ্ট কয়েকটি বস্তুর ভারকেন্দ্রের অবস্থান ঃ

(i) একটি সর্বত্র সমভরের দণ্ড কিংবা তার কিংবা বীমের (beam) ভারকেন্দ্র উহার অক্ষের মধ্য বিন্দুতে হইবে।

(ii) নিরেট কিংবা ফাঁপা গোলকের ভারকেন্দ্র উহার কেন্দ্রে হইবে। একটি গোলাকার চাকৃতি কিংবা বলয়ের ভারকেন্দ্রও উহাদের কেন্দ্রে অবস্থান করিবে।

(iii) একটি ফাঁপা কিংবা নিরেট চোঙের ভারকেন্দ্র উহার অক্ষের মধ্যবিন্দুতে থাকিবে।

(iv) একটি সম ভরবিশিষ্ট ত্রিভুজের মধ্যমাগুলির ছেদবিন্দুই (centroid) উহার ভারকেন্দ্র হইবে।

(v) একটি সমভর বিশিষ্ট সামান্তরিকের (parallelogram) কর্ণ (diagonal) দুইটির ছেদবিন্দুই উহার ভারকেন্দ্র হইবে।

4-20. বস্তুর বিভিন্ন প্রকার সাম্য-অবস্থা (Different states of equilibrium of a body) : কোন বস্তুর সাধারণ ধর্মই হইতেছে এই, যে উহা এমন অবস্থায় থাকিতে চায় যাহাতে উহার ভারকেন্দ্র নিম্নতম অবস্থানে থাকিতে পারে। কোন বস্তুর সাম্য অবস্থা কি প্রকারের হইবে তাহা এই সাধারণ ধর্ম দ্বারাই নির্ধারিত হয়। বস্তুর সাম্য অবস্থা তিন প্রকারের হইতে পারে, যথা— (i) সুস্থির সাম্য, (ii] অস্থির সাম্য এবং (iii) নিরপেক্ষ সাম্য।

(i) **সুস্থির সাম্য** (Stable equilibrium) **:** কোন বস্তুর সেই অবস্থাকেই সুস্থির সাম্য অবস্থা বলা হয়, যখন উহাকে স্থির অবস্থা হইতে সামান্য বিচ্যুত করিয়া ছাড়িয়া দিলে বস্তুটি পুনরায় তাহার পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে। এক্ষেত্রে বস্তুর ভারকেন্দ্র উহার অবলম্বন বিন্দুর (point of support) খুব নীচে থাকে। বস্তুটিকে সামান্য বিচ্যুত করিলে উহার ভারকেন্দ্র উপরে উঠিয়া আসে এবং বস্তুকে মুক্ত করা মাত্র উহা উহার পূর্বস্থানে ফিরিয়া আসে যাহাতে বস্তুর সাধারণ ধর্ম অনুযায়ী উহার ভারকেন্দ্র পুনরায় নিম্নতম স্থানে যাইতে পারে।

(ii) **অস্থির সাম্য** (Unstable equilibrium) **:** কোন বস্তুর সেই অবস্থাকেই **অস্থির সাম্য** অবস্থা বলা হয়, যখন বস্তুটিকে সামান্য বিচ্যুত করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা উহার পূর্বস্থানে ফিরিয়া না যাইয়া বরং আরও বিচ্যুত হইয়া স্থির হয়। এক্ষেত্রে বস্তুর প্রাথমিক অবস্থাতেই উহার ভারকেন্দ্র **বস্তুর** অবলম্বন বিন্দুর অনেক উপরে ছিল। কাজেই বস্তুর সামান্য বিচ্যুতিতে উহার ভারকেন্দ্র নীচে আসিয়া এমন স্থানে অবস্থান করিবে যেখানে বস্তুটি সুস্থির সাম্য অবস্থায় স্থির থাকিতে পারে। এই কারণেই বস্তুটি তাহার পূর্বস্থানে ফিরিয়া যায় না।

(iii) **নিরপেক্ষ সাম্য অবস্থা** (Neutral equilibrium) **:** কোন বস্তুর সেই অবস্থাই উহার নিরপেক্ষ সাম্য অবস্থা হইবে, যখন বস্তুটিকে সামান্য বিচ্যুত করিলে বস্তুটি এই বিচ্যুত অবস্থাতেই থাকিবে। বস্তুটি বর্তমানে যে বিচ্যুত অবস্থায় আছে, সেখান হইতে উহা তাহার পূর্বস্থানেও ফিরিয়া যায় না কিংবা আরও বেশী বিচ্যুত হয় না। এখানে বস্তুর ভারকেন্দ্র উহার অবলম্বন বিন্দুর সহিত মিলিয়া থাকে। এই কারণে বস্তুটিকে সামান্য বিচ্যুত করিলেও উহার ভারকেন্দ্র পূর্বস্থানেই থাকিয়া যায়—উপরেও উঠে না কিংবা নীচেও নামে না। ইহার ফলে বস্তুটিকে যে অবস্থানে রাখা যায় সেই অবস্থানেই থাকে।

বস্তুর সাম্য অবস্থার সহিত উহার স্থিতিশক্তির সম্বন্ধ : কোন বস্তু যখন সাম্য অবস্থায় থাকে তখন তাহার স্থিতিশক্তি হয় নিম্নতম না হয় উচ্চতম হইবে।

(i) বস্তুটি যখন **সুস্থির সাম্য** অবস্থায় থাকে তখন উহার ভারকেন্দ্র বস্তুর অবলম্বন বিন্দুর নীচে থাকে। এই অবস্থায় বস্তুর স্থিতিশক্তি ন্যূনতম হয়। কাজেই

বস্তুটিকে বিচ্যুত করিলেই উহার ভারকেন্দ্র উপরে উঠে তাহার ফলে বস্তুর স্থিতিশক্তি বৃদ্ধি পায়। বস্তুটিকে মুক্ত করার সঙ্গে সঙ্গে উহার ভারকেন্দ্র পুনরায় নীচে যায় এবং স্থিতিশক্তিও ন্যূনতম হয়। কাজেই **বস্তুর সুস্থির সাম্য অবস্থা তখনই আসিবে যখন উহার স্থিতিশক্তি ন্যূনতম হয়।**

(ii) বস্তুটি যখন **অস্থির সাম্য** অবস্থায় থাকে তখন উহার ভারকেন্দ্র বস্তুর অবলম্বন বিন্দুর উপরে থাকে। এই অবস্থায় বস্তুর স্থিতিশক্তি উচ্চতম থাকে। কাজেই বস্তুকে বিচ্যুত করিলেই উহার ভারকেন্দ্র নীচে আসে যাহার ফলে উহার স্থিতিশক্তি কমিতে থাকে। বস্তুটি মুক্ত অবস্থায় থাকিলে উহা এমন অবস্থায় আসিবে যেখানে উহার স্থিতিশক্তি ন্যূনতম হইতে পারে। এইখানে বস্তুটি সুস্থির সাম্য অবস্থায় থাকিবে।

(iii) বস্তুটি যখন **নিরপেক্ষ সাম্য** অবস্থায় থাকে তখন উহার ভারকেন্দ্র অবলম্বন বিন্দুর মধ্য দিয়া যায়। এইজন্য বস্তুকে সামান্য বিচ্যুত করিলে উহার ভারকেন্দ্রের স্থান পরিবর্তনও হয় না এবং স্থিতিশক্তিরও কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। এজন্য বস্তুটিকে যে অবস্থানে রাখা যায়, উহা সেই অবস্থানেই থাকে।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 4]

1. নিউটনের গতিসূত্রের উল্লেখ কর। বস্তুর জাড্য কাহাকে বলে? স্থিতি-জাড্য এবং গতি-জাড্য কাহাকে বলে? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও।

2. 'নিউটনের প্রথম সূত্র হইতে বলের গুণবাচক সংজ্ঞা পাওয়া যায় কিন্তু দ্বিতীয় সূত্র হইতে বলের পরিমাণ নির্ণয় করা যায়'—এই উক্তির সত্যতা কিভাবে প্রমাণ করিবে? (Arts. 4.1 হইতে 4.3)

3. বলের বিভিন্ন প্রকার এককের নাম ও সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ স্থির কর। [Art. 4.4]

4. নিউটনের তৃতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা কর এবং কয়েকটি সাধারণ দৃষ্টান্ত দ্বারা ঐ সূত্রের তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও। 'যখন ঘোড়া একটি বল দ্বারা গাড়ীকে টানে তখন গাড়ীও সমপরিমাণ বল দ্বারা ঘোড়াকে টানে'—তাহা হইলে গাড়ী চলে কেন? ক্রিয়া কিংবা প্রতিক্রিয়া কখন শুরু হইবে? [Art. 4.5]

5. বলের জ্যামিতিক প্রকাশ কিভাবে করা হয়? লব্ধি বল বলিতে কি বুঝ? বলের সংযোজন ও বিয়োজন কিভাবে করা হয়? বল-প্রকাশক ত্রিভুজ বলিতে কি বুঝ? উহার সাহায্যে কি নির্ণয় করা হয়? বল দুইটি সমান্তরাল হইলে তাহাদের সংযোজন কিভাবে করা হয়? [Arts. 4.6 হইতে 4.10]

6. যখন কোন লোক লিফ্‌টে উঠে বা নামে তখন উহার লব্ধি বল কি হইবে যখন লিফ্‌ট (i) সমবেগে উপরে উঠে কিংবা নীচে নামে, (ii) ত্বরণসহ উপরে উঠে কিংবা নীচে নামে। মনে কর, একটি চোর বাক্স মাথায় লইয়া দোতলা হইতে নীচে ঝাঁপ দিতেছে; ঝাঁপ দেওয়ার সময় বাক্সের উপর কত চাপ পড়িবে? [Art. 4.5]

7. একটি বস্তুর দুই বিন্দুতে সমান্তরাল বল প্রযুক্ত থাকিলে তাহাদের লব্ধি বল কত হইবে যখন বল দুইটি (i) সমমুখী (ii) বিপরীতমুখী। [Art. 4.9]

8, অনেকগুলি বল একটি বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল থাকিলে বস্তুর কি অবস্থা হইবে যখন উহাদের লব্ধিবল (i) শূন্য হয় (ii) কিছু পরিমাণ পাওয়া যায়। [Art. 4-6]

9, 'বল বিভিন্ন নামে প্রকাশিত হইতে পারে'—উদাহরণ সহ এই উক্তির ব্যাখ্যা কর। চাপ, ঘাত ও বলের মধ্যে কি পার্থক্য? [Art. 4-7]

10. বলের ঘাত বলিতে কি বুঝ? এই ঘাত কি ভাবে মাপা যায়? ঘাতবল কাহাকে বলে? ঘাতবল দ্বারা বস্তুর সরণ হয় কি? ঘাতবলকে কি ভাবে মাপা হয়? [Art. 4-11]

11, রৈখিক ভরবেগের সংজ্ঞা লিখ। রৈখিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্রটি বিবৃত কর। একই সরল-রেখায় দুইটি বিভিন্ন বস্তুর বিভিন্ন গতিতে চলার কালে ঐ সূত্রের প্রয়োগ কিভাবে করা হয় বুঝাইয়া দাও। দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুর ক্ষেত্রে ঐ সূত্র কিভাবে প্রযুক্ত হয় তাহা একটি উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 4-12]

12. জেট ও রকেটের সাহায্যে বিমানের পরিচালন যে নীতিতে হয় তাহার ব্যাখ্যা কর। [Art. 4-13]

13. ঘর্ষণ কাহাকে বলে? বিভিন্ন প্রকার ঘর্ষণের উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। স্থিত-ঘর্ষণ ও চল ঘর্ষণের মধ্যে কি পার্থক্য? [Arts. 4-14 ও 4-15]

14. ঘর্ষণের কারণ উল্লেখ কর এবং ঘর্ষণ কমাইবার বিভিন্ন পদ্ধতির বিবরণ দাও। ঘর্ষণ থাকার সুবিধা সম্বন্ধে আলোচনা কর। [Arts. 4-16 ও 4-17]

15, ঘর্ষণের নিয়মগুলি বল এবং ঐ নিয়মগুলি দেখাইবার একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Art. 4-18]

16. নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর :—(i) স্থিত-ঘর্ষণের সর্বোচ্চ সীমা (limiting force of friction), (ii) ঘর্ষণ গুণাঙ্ক (co-efficient of friction), (iii) লব্ধি প্রতিক্রিয়া বল (Resultant reaction), (iv) ঘর্ষণ কোণ (angle of friction)। [Art. 4-18]

17, ভারকেন্দ্র ও ভরকেন্দ্র বলিতে কি বুঝ? কখন এই দুই বিন্দু মিলিত থাকে? বস্তুর বিভিন্ন প্রকার সাম্য অবস্থার বিবরণ দাও। [Arts, 4-19 ও 4-20]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 4]

A. **Multiple choice type :** (1) কোন বস্তুর উপর বল ক্রিয়া করিলে বস্তুটি কি অবস্থায় থাকে?—স্থির থাকে, সমবেগে চলে, সমত্বরণে চলে। (2) একটি চলন্ত যাত্রীগাড়ী হঠাৎ থামিয়া গেলে উহার আরোহীর কি হয়?—আরোহী স্থির অবস্থায় থাকে, সামনের দিকে আগাইয়া যায়, পিছনের দিকে হেলিয়া পড়ে। (3) মেঝের উপর একটি বলকে গড়াইয়া দিলে কি হইবে? বলটি সমবেগে চলিতে থাকিবে; মেঝে ও বলের মধ্যে ঘর্ষণ থাকায় বলের বেগ ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে; বলের বেগ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে। (4) একটি মালগাড়ী ঘণ্টায় 30 কিলোমিটার বেগে যাইতেছে এবং ঐ একই লাইনে একটি যাত্রী গাড়ী ঘণ্টায় 60 কিলোমিটার বেগে বিপরীত দিকে যাইয়া দুই গাড়ীর মধ্যে একটি সংঘর্ষের সৃষ্টি করিল; কোন্ গাড়ীর বেশী ক্ষতি হইবে?—মালগাড়ীর বেশী ক্ষতি হইবে কারণ উহার বেগ যাত্রীগাড়ীর বেগ অপেক্ষা অনেক কম, যাত্রী গাড়ীর বেশী ক্ষতি হইবে কারণ উহার ভরবেগ মালগাড়ীর ভরবেগ অপেক্ষা অনেক কম। (5) ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র কি একই বিন্দু? ছোট বস্তুর ক্ষেত্রে দুই বিন্দু মিলিত থাকে, বড় বস্তুর ক্ষেত্রে দুই বিন্দু বিভিন্ন অবস্থানে থাকে ; সমস্ত বস্তুর ক্ষেত্রেই দুই বিন্দু মিলিত থাকে।

B. Recall type : (1) কোন বস্তুর উপর যখন—প্রযুক্ত থাকে না তখন বস্তুটি স্থির—থাকিবে নতুবা—সরলরেখা ধরিয়া চলিবে। (2) অনেকগুলি বল একটি বস্তুর উপর প্রযুক্ত থাকিলে যদি উহাদের লব্ধি—না থাকে তাহা হইলে বস্তুটির—ঘটিবে আর লব্ধি বল থাকিলে বস্তুটি—কিংবা—চলিবে।

(3) যে নীতিতে বিমানকে জেট দ্বারা চালনা করা হয় তাহা দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুর ক্ষেত্রে—সংরক্ষণ সূত্রের উপর নির্ভরশীল।

(4) আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুইটি—বস্তুর মিলনতলের—দিকে যে বিরুদ্ধ বল ক্রিয়া করিয়া বস্ত দুইটির আপেক্ষিক গতিকে—করিতে চেষ্টা করে তাহাকে—বলে।

C. True or false type : (1) যখন কোন লোক চলন্ত ট্রাম গাড়ী হইতে নামে তখন সে সামনের দিকে, অর্থাৎ গাড়ীর গতির দিকে পড়িয়া যায়। (2) একটি মোটর গাড়ী যেমন এঞ্জিন দ্বারা চালিত হয় সেইরূপ রকেট পরিচালনও এঞ্জিন দ্বারা হইয়া থাকে। (3) আপেক্ষিক গতিসম্পন্ন দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুর মধ্যের ঘর্ষণ কমাইতে হইলে উহাদের সংস্পৃষ্ট তলদ্বয়কে খুব মসৃণ করিতে হইবে। (4) যখন বন্দুক হইতে গুলি ছোঁড়া হয় তখন বন্দুক এবং গুলি সমবেগে বিপরীতদিকে চলিতে থাকে। (5) সমস্ত বস্তুর (খুব বড় কিংবা ছোট) ক্ষেত্রেই ভরকেন্দ্র ও ভারকেন্দ্র একই বিন্দু।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 4]

1. একটি 1·5 কিলোগ্রাম ভরের বস্তুর উপর একটি বল মাত্র 5 সেকেণ্ডের জন্য প্রযুক্ত হইল। ইহার পরের 3·5 সেকেণ্ডে বস্তুটি 140 cm. রাস্তা গেল। বস্তুটির উপর কত বল প্রয়োগ করা হইয়াছিল ?

উঃ। বস্তুর অন্তিম বেগ (5 সেকেণ্ড পর) যদি v হয় তাহা হইলে $v=0+f\times 5$ আবার, $140=v\times 3{\cdot}5$; অথবা, $v=40$ cm./sec। কাজেই $40=5f$; অথবা $f=8$ cm/sec^2। বল=ভর×ত্বরণ$=1{\cdot}5\times 1000\times 8=12000$ ডাইন।

2. 30 পাউণ্ড ওজনের একটি বস্তু 16 ফুট উচু হইতে মাটিতে পোঁতা একটি খুঁটির উপর পড়িল এবং 1/5 সেকেণ্ড সময়ে উহারা গতিহীন হইল। খুঁটির উপর কত বল প্রযুক্ত হইল ?

উঃ। 16 ফুট উপর হইতে পড়িবার পর বস্তুটির বেগ যদি v হয় তাহা হইলে, $v^2=u^2+2fs$; অথবা, $v^2=0+2\times 32\times 16$; অথবা $v=32$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। মাটি যদি বস্তু এবং খুঁটির উপর f ত্বরণ উপরদিকে সৃষ্টি করে তাহা হইলে বস্তু এবং খুঁটির লব্ধি ত্বরণ হইবে $(f-g)$ যাহা বস্তুর গতির বিপরীত দিকে ক্রিয়া করিতেছে। কাজেই $v=u+ft$; অথবা, $0=32-(f-g)\times\frac{1}{5}$. অথবা $f=160+32=192$ ফুট/সেকেণ্ড^2। খুঁটির উপর যে বল প্রযুক্ত হইল তাহার পরিমাণ $P=mf$ $=30\times 192$ পাউণ্ডাল $=\dfrac{30\times 192}{32}$ পাউণ্ড-ভার$=180$ পাউণ্ড-ভার।

3. 5 টন ভরের একটি কামান হইতে 112 পাউণ্ড ভরের গোলা 1000 ফুট প্রতি সেকেণ্ড বেগে ছোঁড়া হইল। কামানটি কত বেগে পিছনে আসিল? কামানটির উপর কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে উহা এক ফুটের মধ্যে গতিহীন হইতে পারে।

উঃ। ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী, কামানের ভরবেগ = গোলার ভরবেগ। সুতরাং $5\times2240\times v=112\times1000$; অথবা, $v=10$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। এক্ষণে কামানটির উপর বলপ্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে এক ফুটের মধ্যে উহার বেগ শূন্য হয়। কাজেই $0=10^2-2f\times1$; অথবা $f=50$ ফুট/(সেকেণ্ড)^2। কামানের উপর প্রযুক্ত বল $=P=mf=5\times2240\times50$ পাউণ্ডাল $=\dfrac{250\times2240}{32}$ পাউণ্ড-ভার।

অথবা $P=17500$ পাউণ্ড-ভার।

4. একটি 10 পাউণ্ড বস্তুর উপর 5 সেকেণ্ডের জন্য 100 পাউণ্ড-ভার বল প্রয়োগ করা হইল। বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন কত হইবে? ঐ সময়ের বস্তুটি কত রাস্তা যাইবে?

উঃ। আমরা জানি $Pt=m(v-u)$; অথবা, $100\times32\times5=10\times(v-0)$; অথবা, $v=1600$ ফুট/সেকেণ্ড। বস্তুটির ভরবেগের পরিবর্তন $=10\times1600=16000$ (পাউণ্ড-ফুট/সেকেণ্ড) এবং বস্তুটির উপর বলের পরিমাণ = ভরবেগের পরিবর্তন/সময় $=16000/5=3200$ পাউণ্ডাল। কিন্তু বল = ভর × ত্বরণ ; অথবা, $3200=10\times f$; অথবা, $f=320$ ফুট/সেকেণ্ড^2। আবার $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$; অথবা, $s=\frac{1}{2}\times320\times5^2$ অথবা, $s=4000$ ফুট।

5. একশত ফুট উচ্চের একটি মিনারের শীর্ষ হইতে একটি বস্তুকে অনুভূমিক দিকে 60 ফুট/সেকেণ্ড বেগে নিক্ষেপ করা হইল। বস্তুটি কখন মাটিকে স্পর্শ করিবে এবং মিনারের পাদদেশ হইতে কতদূরে পড়িবে?

উঃ। অনুভূমিক দিকে বস্তুটির প্রাথমিক বেগ, ছিল 60 ফুট/সেকেণ্ড কিন্তু নীচের দিকে বেগ শূন্য ছিল। অতএব $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$; অথবা, $100=\frac{1}{2}\times32\times t^2$; অথবা, $t=2{\cdot}5$ সেকেণ্ড। সুতরাং বস্তুটি 2·5 সেকেণ্ড পর মাটিকে স্পর্শ করিবে। এই 2·5 সেকেণ্ডে বস্তুর অনুভূমিক বেগ অপরিবর্তিত থাকিবে। এই সময়ে বস্তুটি যে রাস্তা যাইবে তাহা $s=vt$ হইতে পাওয়া যাইবে। অতএব $s=60\times2{\cdot}5$ $=150$ ফুট। বস্তুটি মিনারের পাদদেশ হইতে 150 ফুট দূরে পড়িবে।

6. একটি এঞ্জিন 100 টন ভরের কোন গাড়ীকে ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে একটি আনত তলের উপরের দিকে লইয়া যাইতেছে যে তলের উচ্চতা দুই মাইলে এক

মাইল। গাড়ীর চাকা এবং লাইনের মধ্যে ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক '5 হইলে এঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা কত হইবে?

উঃ। আনত-তলের আনত কোন θ হইলে $\sin\theta = \frac{1}{2}$ এবং $\cos\theta = \frac{\sqrt{3}}{2}$ হইবে। গাড়ির ভর m পাউণ্ড হইলে লম্বপ্রতিক্রিয়া বলের পরিমাণ হইবে $R = mg\cos\theta$ এবং ঘর্ষণ বল হইবে $F = \mu R = {}^{\cdot}5 \times mg\cos\theta$। অভিকর্ষ-জনিত বিরুদ্ধ বল $= mg\sin\theta$ যাহা নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে এবং ঘর্ষণ বলও নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে কারণ গাড়ী তলের উপরের দিকে চলিতেছে। অতএব গাড়ীর উপর মোট বিরুদ্ধ বল $= \mu R + mg\sin\theta = {}^{\cdot}5\, mg\cos\theta + mg\sin\theta = mg\left({}^{\cdot}5 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}\right)$।

এই বিরুদ্ধ বলকে নিষ্ক্রিয় করিতে এঞ্জিনকে যে বল প্রয়োগ করিতে হইতেছে তাহার পরিমাণ $= P = mg\left({}^{\cdot}5 \times \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}\right)$ পাউণ্ডাল $= m\left(\frac{{}^{\cdot}5\sqrt{3}}{2} + \frac{1}{2}\right)$ পাউণ্ড-ভার। গাড়ীটি ঘন্টায় 30 মাইল অর্থাৎ সেকেণ্ডে 44 ফুট যাইতেছে। অতএব এক সেকেণ্ডে কাজের পরিমাণ $= 44 \times 2240 \times 100\left(\frac{{}^{\cdot}5\sqrt{3}+1}{2}\right)$ ফুট-পাউণ্ড।

এঞ্জিনের অশ্বক্ষমতা $= H = \frac{44 \times 2240 \times 100}{550}\left(\frac{{}^{\cdot}5\sqrt{3}+1}{2}\right) = 16720$।

7. একটি বস্তুকে আনত তলের উপর দিকে সেকেণ্ডে 40 ফুট বেগে নিক্ষেপ করা হইল। যদি বস্তু এবং তলের মধ্যে ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক '2 হয় এবং আনত তলটি 2 ফুটে 1 ফুট উচ্চ হয় তাহা হইলে বস্তুটি কতদূরে আসিয়া স্থির হইবে?

উঃ। বস্তুটির ভর m হইলে, অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া বল $R = mg\cos\theta$ এবং মোট বিরুদ্ধ বল $= mg\sin\theta + \mu\, mg\cos\theta = mg(\sin\theta + \mu\cos\theta) = mf$।

অতএব বস্তুটির মন্দন $= g(\sin\theta + \mu\cos\theta) = 32\left(\frac{1}{2} + {}^{\cdot}2\frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ ফুট/সেকেণ্ড^2। বস্তুটি যদি s রাস্তা অতিক্রম করে তাহা হইলে $0 = u^2 - 2fs$; অথবা,

$$s = \frac{u^2}{2f} = \frac{40^2}{2 \times 3\left(\frac{{}^{\cdot}2\sqrt{3}+1}{2}\right)} = \frac{1600}{32({}^{\cdot}2\sqrt{3}+1)} = \frac{50}{{}^{\cdot}2\sqrt{3}+1} = 37{}^{\cdot}15 \text{ ফুট।}$$

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 4]

1. একটি রেলগাড়ী স্থির অবস্থা হইতে সমত্বরণে যাত্রা করিল এবং 1/4 মাইল যাওয়ার পর উহার বেগ ঘন্টায় 45 মাইল হইল। গাড়ীর ত্বরণ কত ছিল? [**Ans.** 1·65 ফুট/সেকেণ্ড^2]

2. একজন মোটরের আরোহী ঘন্টায় 45 মাইল বেগে গাড়ী চালাইবার সময় ঠিক 100 ফুট সামনে একটি বালককে দেখিতে পাইল। আরোহী সঙ্গে সঙ্গে এঞ্জিন বন্ধ করিয়া ব্রেক প্রয়োগ করিতে থাকিল

এবং গাড়ীটি যখন থামিয়া গেল তখন বালকটি মাত্র এক ফুট সামনে ছিল। বালকটি যদি বরাবর স্থির থাকে এবং গাড়ী ও আরোহীর মোট ভর 2000 পাউণ্ড হয় তাহা হইলে গাড়ীর থামিয়া যাইতে কত সময় লাগিল এবং ব্রেক কত বল প্রয়োগ করিয়াছিল? [**Ans.** 3 সেকেণ্ড ; 1375 পাউণ্ড-ভার]

3. একটি এঞ্জিন, 5000 টন ভরের রেলগাড়ীকে টানিয়া 6 মিনিটে ঘণ্টায় 20 মাইল বেগের সৃষ্টি করিল। যদি এঞ্জিনের টানের 1/4 অংশ ঘর্ষণ অতিক্রম করিতে ব্যয়িত হয় তাহা হইলে এঞ্জিনের মোট-টান কত ছিল? [**Ans.** প্রায় 17 টন-ভার]

সংকেত : [$v=u+ft$; $88/3=f\times 360$; অথবা $f=\frac{11}{135}$ ফুট/সেকেণ্ড^2

যদি এঞ্জিনের টান P হয় তাহা হইলে তাহার $\frac{3}{4}$ অংশ ট্রেনের ত্বরণের সৃষ্টি করিবে। অতএব $\frac{3}{4}P=\frac{5000\times 2240\times 11}{32\times 2240\times 135}$; অথবা, $P=$ প্রায় 17 টন-ভার]

4. একটি 3-টন লরি ঘণ্টায় 15 মাইল বেগে যাইতেছে। তাহাকে 10 গজের মধ্যে থামাইতে কত বল কত সময়ের জন্য প্রয়োগ করিতে হইবে? [**Ans.** 169·4 পাউণ্ড-ভার ; 300/11 সেকেণ্ড]

5. একটি 10 পাউণ্ড-ভারের বস্তু 100 ফুট উপর হইতে বালির মধ্যে 10 ফুট প্রবেশ করিয়া স্থির হইয়া গেল। বালি বস্তুটির উপর কত বল প্রয়োগ করিল? [2নং কষা অঙ্ক দেখ : এখানে $v=u+ft$ সমীকরণ ব্যবহার না করিয়া $v^2=u^2+2fs$ সমীকরণ লইতে হইবে] [**Ans.** 110 পাউণ্ড-ভার]

6. 5 আউন্স ভরের ক্রিকেট বল 60 ফুট/সেকেণ্ড বেগে নিক্ষেপ করা হইল। ব্যাটধারী লোকটি ঐ বলকে 40 ফুট/সেকেণ্ড বেগে নিক্ষেপকারী লোকের কাছে বলটি ফিরাইয়া দিল। বলটি যদি ব্যাটের সংস্পর্শে 1/4 সেকেণ্ড পর্যন্ত থাকে তাহা হইলে ব্যাট বলের উপর কত বল প্রয়োগ করিয়াছিল? [$Pt=m(v-u)$; এখানে $v=40$ ফুট/সেকেণ্ড এবং $u=60$ ফুট/সেকেণ্ড] [**Ans.** 125 পাউণ্ডাল]

7. 2·5 কিলোগ্রাম ভরের একখানি পাথর ঘরের মেঝের উপর আছে। পাথরটিকে নড়াইতে কি পরিমাণ ন্যূনতম বলের প্রয়োজন হইবে? ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক = ·4। [**Ans.** 1 কিলোগ্রাম-ভার]

8. এক কিলোগ্রাম-ভরের বস্তুকে একটি অনুভূমিক টেবিলের উপর রাখিয়া উহাকে $\frac{1}{2}$ কিলোগ্রাম-ভার বল দ্বারা অনুভূমিক দিকে টানা হইতেছে। ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক 1/3 হইলে বস্তুটির ত্বরণ কত হইবে? $g=980$ cm./sec.^{2}। [**Ans.** 163·33 cm./sce.^{2}]

9. 3500 পাউণ্ড-ভরের একটি মোটরগাড়ী ঘণ্টায় 60 মাইল বেগে ছুটিতেছে এক সেকেণ্ডের মধ্যে ইহাকে থামাইতে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে এবং থামিবার পূর্বে কতটা রাস্তা যাইবে?

(C. U. 1956) [**Ans.** $3·08\times 10^5$ পাউণ্ডাল ; 44ফুট]

10. 160 পাউণ্ড-ভরের একটি লোক এরোপ্লেনের মধ্যে আছে। লোকটির উপর এরোপ্লেনের প্রতিক্রিয়াবল কত হইবে যখন এরোপ্লেন (i) 8 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণ লইয়া উপরে উঠিতেছে কিংবা (ii) নীচে নামিতেছে ; (iii) 32 ফুট/সেকেণ্ড^2 ত্বরণে নীচে নামিতেছে ; (iv) সমবেগে উপরে উঠিতেছে কিংবা নীচে নামিতেছে। [**Ans.** (i) 200 পাউণ্ড-ভার ; (ii) 120 পাউণ্ড-ভার ; (iii) শূন্য (iv) 160 পাউণ্ড-ভার]

11. 800 টন ভরের একটি এঞ্জিনের গতি 15 মিনিটে 15 মাইল/ঘণ্টা হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 40 মাইল/ঘণ্টা দাঁড়াইল। এঞ্জিনের উপর কত পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করা হইয়াছিল?

[**Ans,** 32853·3 পাউণ্ডাল]

12. 10 কিলোগ্রাম-ভরের বন্দুক হইতে 10 গ্রাম-ভরের একটি গুলি 500 মিটার/সেকেণ্ড বেগে ছোঁড়া হইল। গুলিটি 490 গ্রাম-ভরের একটি কাঠের টুকরার মধ্যে প্রবেশ করিল। অনুভূমিক তলে, বন্দুকটির পিছনের দিকের বেগ এবং কাঠের টুকরাটির সামনের দিকের বেগ কত হইবে?

[**Ans.** বন্দুকের বেগ 50 = সে. মি./সেকেণ্ড ; কাঠের টুকরার বেগ = 10 মিটার/সেকেণ্ড]

13. একটি বিন্দুতে চারিটি বল ক্রিয়া করিতেছে। প্রথমটির পরিমাণ 500 ডাইন যাহা দক্ষিণ দিকে ক্রিয়া করিতেছে, দ্বিতীয়টির পরিমাণ 50 ডাইন যাহা পশ্চিম দিকে ক্রিয়া করিতেছে, তৃতীয়টির পরিমাণ 400 ডাইন যাহা উত্তরের দিকে ক্রিয়া করিতেছে এবং চতুর্থ টির পরিমাণ 100 ডাইন যাহা পূর্বদিকে ক্রিয়া করিতেছে। এই বলগুলির লব্ধিবলের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্ণয় কর।

[**Ans.** $R=111{\cdot}8$ ডাইন ; লব্ধিবল পূর্বদিকের সঙ্গে θ কোণ করিয়া চলিবে যাহার $\tan\theta=2$]

14. একটি দণ্ডের (AB) দৈর্ঘ্য 4 মিটার এবং ওজন 10 কিলোগ্রাম। দণ্ডটির একপ্রান্তে (A) 20 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দেওয়া আছে। উহার অপর প্রান্তে (B) কত ভার ঝুলাইতে হইবে যাহাতে দণ্ডটিকে B প্রান্ত হইতে এক মিটার দূরে ঝুলাইয়া দিলে উহা অনুভূমিক থাকিবে

[**Ans.** 70 কিলোগ্রাম]

15. একটি রাইফেল হইতে 10 গ্রাম-ভরের একটি গুলিকে 500 মিটার/সেকেণ্ড বেগে ছোঁড়া হইল। দেখা গেল যে রাইফেলটি 2 মিটার/সেকেণ্ড বেগে পিছনের দিকে আসিতেছে। রাইফেলের ভর কত?

[**Ans.** 2·5 কিলোগ্রাম]

16. দশগ্রাম-ভরের একটি কাচের বলকে ঘরের মেঝে হইতে 2·5 মিটার উপর হইতে ফেলিলে বলটি মেঝেতে ধাক্কা খাইয়া 1·6 মিটার উপরে উঠিল। বলটি যদি মেঝের সংস্পর্শে ·1 সেকেণ্ড পর্যন্ত থাকে তাহা হইলে বল ও মেঝের মধ্যে কি পরিমাণ গড়বল ক্রিয়া করিবে? অভিকর্ষজাত ত্বরণ=980 সে. মি./সেকেণ্ড^2।

[**Ans.** 126000 ডাইন]

17. 10 গ্রাম-ভরের বস্তুর উপর 100 ডাইন বল 5 সেকেণ্ডের জন্য ক্রিয়া করিল। বস্তুর ভরবেগের পরিবর্তন কত হইবে এবং ঐ সময়ে কত রাস্তা যাইবে? [H. S. 1967]

[**Ans.** ভরবেগের পরিবর্তন=500 গ্রাম-(সে. মি./সেকেণ্ড), রাস্তা=125 সে. মি.]

অধ্যায় 5

ঘূর্ণনগতি সম্বন্ধীয় বিষয়

[Matters relating to circular motion]

5-1. কণার ঘূর্ণন গতি, কৌণিক বেগ ও কৌণিক ত্বরণ (Rotational motion, angular velocity and angular acceleration of a particle) :

(a) **ঘূর্ণন গতি** (Rotational motion) :—[3-1 (2) পরিচ্ছেদ দেখ]।

(b) **কৌণিক বেগ** (Angular velocity) :—যখন ঘূর্ণমান বস্তুর (AB) কোন একটি কণা (P) একটি নির্দিষ্ট বিন্দুকে (O) কেন্দ্র করিয়া বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে তখন সেই বৃত্তের ব্যাসার্ধ ($OP=r$) বৃত্তের কেন্দ্রে (O) এক সেকেণ্ডে যে কোণ উৎপন্ন করিবে তাহাই ঘূর্ণমান কণার **কৌণিক বেগ** হইবে [5.1 নং চিত্র]। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একক হইবে, 'রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ডে'।

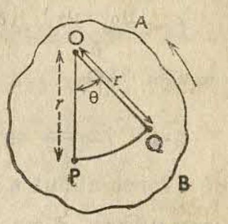
বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণমান কণা যদি সমান সমান সময়ে (সে সময়ান্তর যত ক্ষুদ্রই হউক না কেন) বৃত্তের কেন্দ্রে সমান সমান কোণ উৎপন্ন করে তাহা হইলে ঐ প্রকার কৌণিক বেগকে **স্থির কৌণিক বেগ** (uniform angular velocity) বলে।

(c) **কৌণিক ত্বরণ** (Angular acceleration) :—যখন ঘূর্ণমান বস্তুর কোন কণা, উহার আবর্তন-বৃত্তের কেন্দ্রে সমান সমান সময়ে বিভিন্ন পরিমাণের কোণ উৎপন্ন করে তখন এক সেকেণ্ড ঐ কণার কৌণিক বেগের বৃদ্ধিকে কিংবা হ্রাসকে কণার **কৌণিক ত্বরণ** বলে (যাহাকে যথাক্রমে ধনাত্মক বা পজিটিভ কিংবা ঋণাত্মক বা নেগেটিভ কৌণিক ত্বরণ বলে)। **যথা**—একটি রেল এঞ্জিনের বড় চাকার (fly wheel) কৌণিক গতি যখন ক্রমশ : বাড়িতে থাকে তখন উহার ধনাত্মক কৌণিক ত্বরণ থাকিবে কিন্তু ঐ চাকার কৌণিক গতি যখন ক্রমশঃ কমিতে থাকে তখন উহার ঋণাত্মক কৌণিক ত্বরণ থাকিবে। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে কৌণিক ত্বরণের একক হইবে 'রেডিয়ান (প্রতি সেকেণ্ডে)^2'।

5-2. রৈখিক বেগ এবং কৌণিক বেগের মধ্যে সম্বন্ধ (Relation between linear and angular velocity) :

মনে কর ঘূর্ণমান বস্তুর (AB) কোন কণা (P), O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া r ($=OP$) ব্যাসার্ধের

বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ($=v$) ঘুরিতেছে (5.1নং চিত্র)। কণাটি যদি t সেকেণ্ডে P হইতে Q বিন্দুতে যাইয়া বৃত্তের কেন্দ্রে $\angle POQ=\theta$ কোণ উৎপন্ন করে তাহা হইলে কণার কৌণিক বেগ হইবে



চিত্র 5.1 : ঘূর্ণন-গতি

ω (ওমেগা) $=\theta/t$ রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ডে ··· (5-2a)

এই t সেকেণ্ড সময়ে কণার অতিক্রান্ত পথ $=PQ=r\theta$। কাজেই কণার রৈখিক বেগের পরিমাণ $=v=PQ/t=r\theta/t$। অথবা,

$$v=\frac{r\theta}{t}=\frac{r\omega t}{t}=\omega r \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots(5\text{-}2b)$$

(5-2b) সমীকরণ হইতে দেখা যাইতেছে যে, বস্তুর কৌণিক বেগ (ω) স্থির থাকিলে, উহার ঘূর্ণন অক্ষ বা বিন্দু হইতে কণা যত দূরে থাকিবে, কণার রৈখিক বেগের মানও (v) তত বেশী হইবে।

কণাটি যদি বৃত্তাকার পথে একবার ঘুরিতে T সেকেণ্ড সময় লয় (T-কে কণার আবর্তন-কাল বলে) তাহা হইলে কণার কৌণিক বেগ হইবে $\omega=2\pi/T$ এবং রৈখিক বেগ হইবে $v=2\pi r/T$। এখানে কণা T সেকেণ্ডে বৃত্তের কেন্দ্রে 2π রেডিয়ান কিংবা 360° কোণ উৎপন্ন করিয়াছে।

আবার কণাটি যদি এক সেকেণ্ডে বৃত্তকে n বার প্রদক্ষিণ করে তাহা হইলে কণার কৌণিক বেগ হইবে $\omega=2\pi n$ এবং রৈখিক বেগ হইবে $v=2\pi nr$। অতএব,

$\omega=2\pi/T=2\pi n$; অথবা, $n=1/T$; অথবা $nT=1$ ··· (5-2c)

ঘূর্ণমান কণার রৈখিক বেগের পরিমাণ স্থির থাকিলেও ঐ বেগকে সমবেগ বলা চলে না। কারণ বেগের অভিমুখ সর্বদা বৃত্তের স্পর্শকের দিকে থাকায় কণার রৈখিক বেগের অভিমুখের পরিবর্তন হইতেছে। এজন্য বৃত্তাকার পথে কণার আবর্তন সমদ্রুতিতে হইলেও উহার রৈখিক বেগকে অসমবেগ বলা হয়।

5-3. কণার কৌণিক ত্বরণের সহিত রৈখিক ত্বরণের সম্বন্ধ (Relation between angular and linear acceleration of a particle) : মনে কর m ভরের কোন বস্তুকণা (P) একটি বিন্দুকে (O) কেন্দ্র করিয়া r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে অসমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে। যদি **খুব অল্প** সময়ান্তর δ সেকেণ্ডের মধ্যে কণার কৌণিক বেগ ω_1 হইতে বৃদ্ধি পাইয়া ω_2-তে দাঁড়ায় এবং রৈখিক বেগের পরিমাণ v_1 হইতে বৃদ্ধি পাইয়া v_2-তে দাঁড়ায় তাহা হইলে কণার,

$$\left.\begin{aligned}\text{কৌণিক ত্বরণ} &= \alpha=(\omega_2-\omega_1)/\delta \\ \text{এবং রৈখিক ত্বরণ} &= f=(v_2-v_1)/\delta\end{aligned}\right\} \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (5\text{-}3a)$$

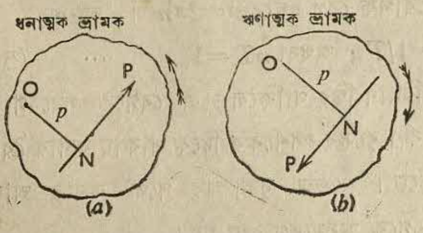
কিন্তু (5-2b) সমীকরণ হইতে আমরা জানি যে $v=\omega r$। সুতরাং

$$f=\frac{(v_2-v_1)}{\delta}=\frac{(\omega_2-\omega_1)r}{\delta}=\alpha r \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (5.3b)$$

অতএব, রৈখিক ত্বরণ (f)=কৌণিকত্বরণ (α)×ঘূর্ণন অক্ষ হইতে কণার দূরত্ব (r)।

5-4. বিন্দু বা অক্ষভিত্তিক বলের ভ্রামক (Moment of a force about a point or about an axis) ঃ কোন বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত থাকিলে, ঐ বল বস্তুর রৈখিক-গতি কিংবা কোন বিন্দুর বা অক্ষের চারিদিকে ঘূর্ণন-গতি সৃষ্টি করিতে পারে। বল যখন বস্তুর রৈখিক গতির সৃষ্টি করে তখন বলের হ্রাস বৃদ্ধিতে বস্তুর ত্বরণেরও হ্রাস-বৃদ্ধি হইয়া থাকে। কিন্তু বল যখন কোন বস্তুকে একটি বিন্দুর (বা অক্ষরেখার) চারিদিকে ঘুরাইতে থাকে তখন বলের এই ঘূর্ণন-প্রয়াস, বলের **পরিমাণের** উপর এবং বস্তুর ঘূর্ণন-বিন্দু (বা অক্ষরেখা) ও বলের ক্রিয়ারেখার মধ্যের **লম্ব-দূরত্বের** উপর নির্ভর করে। অতএব কোন বল একটি বস্তুকে জোরে ঘুরাইবে কি আস্তে ঘুরাইবে তাহা বলের পরিমাণ এবং বস্তুর ঘূর্ণন বিন্দু (বা ঘূর্ণন অক্ষ) ও বলের ক্রিয়ারেখার মধ্যের লম্ব-দূরত্বের গুণফল দ্বারা স্থিরীকৃত হয় যাহাকে বলের **ভ্রামক** (moment) বলে।

মনে কর কোন বস্তুর উপর P পরিমাণ বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে O বিন্দুর (কিংবা অক্ষরেখার) চারিদিকে ঘুরান হইতেছে। বলের এই ঘূর্ণন-প্রয়াস বা ভ্রামক দুইটি রাশির গুণফল দ্বারা স্থিরীকৃত হয়, যাহার একটি বলের পরিমাণ P এবং অপরটি বলের ক্রিয়া রেখা NP এবং বস্তুর ঘূর্ণন-বিন্দু O-এর (কিংবা ঘূর্ণন অক্ষরেখার) মধ্যের লম্ব-দূরত্ব $ON=p$ [5.2নং চিত্র]।



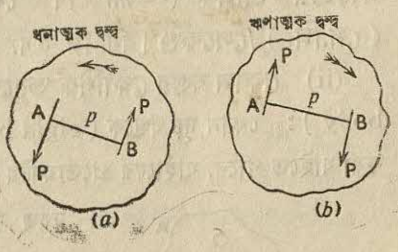
চিত্র 5.2 ঃ বলের ভ্রামক

অতএব **বলের** ($=P$) **ঘূর্ণন-প্রয়াস বা ভ্রামক**$=P\times p$। বলের পরিমাণ (P) স্থির রাখিয়া, যদি উহার-ক্রিয়ারেখা (NP) এবং ঘূর্ণন বিন্দু O-এর (কিংবা ঘূর্ণন অক্ষের) মধ্যের লম্ব-দূরত্ব (p) বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে বলের ভ্রামক বেশী হইবে এবং বস্তুটি জোরে ঘুরিবে আর যদি বলের ক্রিয়া রেখা (NP) এবং ঘূর্ণন বিন্দু O-এর (কিংবা ঘূর্ণন অক্ষের) মধ্যের লম্ব-দূরত্ব শূন্য হয় (অর্থাৎ $p=0$ হয়) তাহা হইলে বলের **ভ্রামক বা ঘূর্ণন-প্রয়াস শূন্য হইবে** এবং বস্তুটি মোটেই ঘুরিবে না। এক্ষেত্রে বলের ক্রিয়ারেখা ঘূর্ণন বিন্দুর (বা ঘূর্ণন অক্ষের) মধ্য দিয়া যাইবে। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে বলের ভ্রামকের একক হইবে '**ডাইন-সেন্টিমিটার**'।

ধনাত্মক ও ঋণাত্মক ভ্রামক—বলের ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি। ইহার পরিমাণ (যাহা Pp দ্বারা স্থিরীকৃত হয়) এবং অভিমুখ দুই-ই আছে। বল যদি বস্তুকে ঘড়ির কাঁটা যেদিকে ঘোরে তাহার বিপরীত দিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করে তাহা হইলে বলের এই ভ্রামককে **ধনাত্মক ভ্রামক** বলে [5.2 (a) নং চিত্র দেখ]। আর বল যদি বস্তুকে ঘড়ির কাঁটা যে দিকে ঘোরে সেই দিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করে তাহা হইলে বলের এই ভ্রামককে **ঋণাত্মক ভ্রামক** বলে [5.2 (b) চিত্র দেখ]।

5-5. দ্বন্দ্ব (Couple) : কোন বস্তুর দুইটি বিভিন্ন বিন্দুতে প্রযুক্ত দুইটি বিপরীতমুখী সমান ও সমান্তরাল বলকে **দ্বন্দ্ব** বলে। কোন বস্তুর উপর দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত থাকিলে বস্তুটি ঘুরিতে চেষ্টা করে। দ্বন্দ্বের এই ঘূর্ণন-প্রয়াসকে দ্বন্দ্বের **ভ্রামক** (moment) বলে, যাহা দ্বন্দ্বের যে কোন একটি বলের পরিমাণ ও বলদুইটির ক্রিয়া রেখার মধ্যের ন্যূনতম দূরত্বের (যাহাকে দ্বন্দ্বের বাহু বলে) গুণফল দ্বারা নির্ণীত হয়। দ্বন্দ্বের ভ্রামকের এককও **ডাইন-সেন্টিমিটার** হইবে [সি. জি. এস. পদ্ধতিতে]।

5.3 নং চিত্রে, P,P দুইটি বিপরীতমুখী, সমান ও সমান্তরাল বল, যাহারা বস্তুর A ও B বিন্দুতে প্রযুক্ত থাকিয়া বস্তুটিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করিতেছে। যদি বল দুইটির ক্রিয়া রেখার মধ্যস্থ ন্যূনতম দূরত্ব $AB=p$ হয় তাহা হইলে দ্বন্দ্বের **বাহু** হইবে p এবং দ্বন্দ্বের ভ্রামকের পরিমাণ হইবে Pp। দ্বন্দ্বের ভ্রামককে **টর্ক** (torque) বলে। দ্বন্দ্বের বলের পরিমাণ স্থির রাখিয়া, উহার বাহুর দৈর্ঘ্য (p) যত বড় করা হইবে বস্তুটি-



চিত্র 5.3 : বলের দ্বন্দ্ব

তত জোরে ঘুরিতে থাকিবে। বস্তুটির ঘোরার ফলে যদি দ্বন্দ্বের বাহুর দৈর্ঘ্য ক্রমশ : কমিতে থাকে তাহা হইলে বস্তুটি আস্তে আস্তে ঘুরিতে থাকিবে। দ্বন্দ্বের বল দুইটি যখন এক সরলরেখায় আসিবে তখন দ্বন্দ্বের বাহুর মান p শূন্য হইবে এবং বস্তুটি স্থির থাকিবে। এক্ষণে দ্বন্দ্বের সমপরিমাণ বল দুইটি এক সরলরেখায় বিপরীত দিকে থাকায় পরস্পর পরস্পরকে নিষ্ক্রিয় করিবে।

দ্বন্দ্বের ভ্রামক ধনাত্মক কিংবা ঋণাত্মক হইতে পারে—দ্বন্দ্বের ভ্রামক একটি ভেক্টর রাশি, কাজেই ইহার পরিমাণ (Pp) এবং অভিমুখ দুই-ই থাকিবে। দ্বন্দ্বের ভ্রামক ধনাত্মক কিংবা ঋণাত্মক হইবে যদি দ্বন্দ্ব বস্তুটিকে যথাক্রমে ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকে কিংবা ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করে। 5.3(a) নং চিত্রে, দ্বন্দ্ব বস্তুটিকে ঘড়ির কাঁটার গতির বিপরীত দিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করিতেছে, এজন্য উহার ভ্রামক ধনাত্মক হইবে। 5.3 (b) নং চিত্রে দ্বন্দ্ব বস্তুটিকে

ঘড়ির কাঁটার গতির দিকে ঘুরাইতে চেষ্টা করিতেছে, এজন্য উহার ভ্রামক ঋণাত্মক হইবে। দ্বন্দ্বের এককও **'ডাইন-সেন্টিমিটার'** হইবে [সি. জি. এস. পদ্ধতিতে]।

5-6. কৌণিক ভরবেগ, টর্ক এবং উহাদের মধ্যে সম্বন্ধ (Angular momentum, torque and relation between them) ঃ

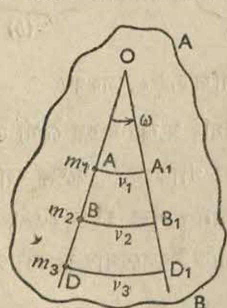
(a) (i) **কোন বস্তুকণার কৌণিক ভরবেগ** (Angular momentum of a particle) ঃ যদি m ভরের কোন **বস্তুকণা**, r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v পরিমাণ সমদ্রুতিতে এবং ω পরিমাণ কৌণিক বেগে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে ঐ কণার **রৈখিক ভরবেগ**$=mv=m\omega r$ [$\because$ $v=\omega r$] ··· ··· (5-6a)

কণার ঘূর্ণন-বিন্দুকে ভিত্তি করিয়া উহার রৈখিক ভরবেগের ভ্রামক লইলে ঐ ভ্রামককে কণার **কৌণিক ভরবেগ** (Angular momentum) বলে। সুতরাং, কণার কৌণিক ভরবেগ$=m\omega r^2=\omega(mr^2)$ ··· ··· (5-6b)

mr^2-কে বস্তুকণার **জাড্যের ভ্রামক** (moment of inertia) নামে অভিহিত করা হয়। অতএব,

বস্তুকণার কৌণিক ভরবেগ=কণার কৌণিক বেগ ($=\omega$)$\times$কণার জাড্যের ভ্রামক ($=mr^2$)। কৌণিক ভরবেগের একক হইবে, **'গ্রাম-(সে.মি.)^2/সেকেণ্ড** [সি. জি. এস. পদ্ধতিতে]।

(ii) **কোন বস্তুর কৌণিক ভরবেগ** (Angular momentum of a rigid body) ঃ কোন দৃঢ় বস্তুকে (rigid body) অনেকগুলি কণার সমষ্টি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে, যাহাদের প্রত্যেকটির ভর এবং বস্তুর ঘূর্ণন-অক্ষ হইতে উহাদের দূরত্ব বিভিন্ন। মনে কর M ভরের কোন বস্তু (AB), একটি অক্ষের (যে অক্ষ O বিন্দুর মধ্য দিয়া অতিক্রম করিয়াছে) চারিদিকে ω পরিমাণ স্থির কৌণিক বেগে ঘুরিতেছে (5.4নং চিত্র)। বস্তুর ঘূর্ণন অক্ষ O হইতে যদি $r_1, r_2\ r_3$ প্রভৃতি দূরত্বে যথাক্রমে m_1 (A), m_2 (B), m_3 (D) প্রভৃতি ভরের কণাকে কল্পনা করা হয় তাহা হইলে A, B, D প্রভৃতি কণার রৈখিক বেগের



চিত্র 5.4 কৌণিক ভরবেগ

পরিমাণ যথাক্রমে $v_1=\omega r_1$, $v_2=\omega r_2, v_3=\omega r_3$ প্রভৃতি হইবে। অতএব, A, B, D প্রভৃতি কণার কৌণিক ভরবেগ হইবে যথাক্রমে $m_1\omega r_2{}^2, m_2\omega r_2{}^2$, $m_3\omega r_3{}^2$, ইত্যাদি। বস্তুর যাবতীয় কণাগুলির কৌণিক ভরবেগের বীজগণিতিক যোগফলই হইবে সম্পূর্ণ বস্তুটির কৌণিক ভরবেগ। অতএব, **বস্তুর কৌণিক ভরবেগ**, $J=\omega(m_1r_1{}^2+m_2r_2{}^2+m_3r_3{}^2+\cdots)=\omega\Sigma mr^2=I\omega$ ··· (5-6c)

এখানে $I = \Sigma mr^2 = MK^2$ = **বস্তুর জাড্যের ভ্রামক** (moment of inertia of the body) বলে। K-কে বস্তুর **চক্রগতির ব্যাসার্ধ** (radius of gyration) বলে। অতএব অক্ষরেখা হইতে কোন এক বিন্দুর দূরত্বই ঐ বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ হইবে, যে বিন্দুতে বস্তুর সমস্ত ভর (M) ঘনীভূত করিলে ঐ ঘনীভূত কণার জাড্যের ভ্রামক এবং প্রকৃত বস্তুর জাড্যের ভ্রামক ঐ একই অক্ষরেখায় সমান থাকিবে।

(b) **বস্তুর টর্ক** (Torque): যদি কোন বস্তুর ঘূর্ণন এমনভাবে হয় যাহাতে সময়ের সহিত উহার কৌণিক বেগ (ω) এবং সেই সঙ্গে উহার কণাগুলির রৈখিক বেগেরও (v) পরিবর্তন হয় তাহা হইলে বস্তুটির কৌণিক ত্বরণ এবং উহার কণাগুলির রৈখিক ত্বরণ থাকিবে। যদি s সেকেণ্ড সময়ে বস্তুর কৌণিক বেগ ω_1 হইতে বৃদ্ধি পাইয়া ω_2-তে দাঁড়ায় তাহা হইলে বস্তুর কৌণিক ত্বরণ $= \alpha = (\omega_2 - \omega_1)/s$ [(5-3a) সমীকরণ দেখ]।

বস্তুটির কৌণিক ত্বরণের মান (α) সব সময়ে এক রাখিলেও উহার বিভিন্ন কণার রৈখিক ত্বরণ কিন্তু এক থাকিবে না। কারণ ঘূর্ণন অক্ষ হইতে বিভিন্ন কণার দূরত্ব (r) বিভিন্ন হওয়ায় উহাদের রৈখিক ত্বরণ $= f = \alpha r$, বিভিন্ন হইবে [(5-3b) সমীকরণ দেখ]।

ঘূর্ণমান বস্তুর বিভিন্ন কণাগুলির বিভিন্ন পরিমাণ রৈখিক ত্বরণ (f) থাকায় উহাদের উপর ক্রিয়াশীল বলের পরিমাণও (mf) বিভিন্ন হইবে। বিভিন্ন কণাগুলির উপর ক্রিয়াশীল বলের অক্ষ-ভিত্তিক ভ্রামকের বীজগণিতিক যোগফল হইবে,

$$C = m_1 f_1 r_1 + m_2 f_2 r_2 + m_3 f_3 r_3 + \cdots$$

অথবা, $C = m\alpha r_1^2 + m_2 \alpha r_2^2 + m_3 \alpha r_3^2 + \cdots \quad [\because f = \alpha r]$

অথবা, $C = \alpha \Sigma mr^2 = I\alpha \quad \cdots \quad \cdots \quad (5\text{-}6d)$

কিন্তু এখানে ঘূর্ণমান বস্তুর বিভিন্ন কণাগুলির উপর ক্রিয়াশীল বিভিন্ন পরিমাণ বলগুলির অক্ষ-ভিত্তিক ভ্রামকের বীজগণিতিক যোগফল (algebric sum) বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল দ্বন্দ্বের (couple) ভ্রামকের সহিত সমান হইবে যাহাকে **টর্ক** বলে। অতএব, কোন বস্তু যখন সমমাণের কৌণিক ত্বরণে কোন অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতে থাকে তখন তাহার উপর ক্রিয়াশীল,

টর্ক = বস্তুর জাড্যের ভ্রামক (I) × বস্তুর সমমানের কৌণিক ত্বরণ (α)।

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে টর্কের একক হইবে, 'গ্রাম-(সে.মি.)^2/(সেকেণ্ড)^2।

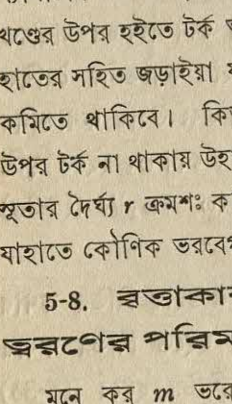
5-7. কৌণিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র (Principle of Conservation of angular momentum): এই সূত্র বিবৃত করে যে,

বাহির হইতে কোন দ্বন্দ্ব বা টর্ক ঘূর্ণমান বস্তুর উপর প্রযুক্ত না হইলে উহার কৌণিক ভরবেগ অপরিবর্তিত থাকিবে।

উদাহরণ ঃ—মনে কর m ভরের কোন এক টুকরা প্রস্তরখণ্ডকে r দৈর্ঘ্যের সূতার এক প্রান্তে বাঁধিয়া সূতার অপর প্রান্ত একটি আঙ্গুলে বাঁধা হইল। আঙ্গুলের সাহায্যে প্রস্তরখণ্ডের উপর একটি দ্বন্দ্ব বা টর্ক প্রয়োগ করিলে প্রস্তরখণ্ডটি r ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকিবে। এক্ষণে এই ঘূর্ণমান প্রস্তর-খণ্ডের উপর হইতে টর্ক অপসারণ করিয়া লইলে দেখা যাইবে যে সূতাটি ক্রমশঃ হাতের সহিত জড়াইয়া যাইতেছে। এই জড়ানোর ফলে সূতার দৈর্ঘ্য r ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে। কিন্তু কৌণিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী প্রস্তরখণ্ডের উপর টর্ক না থাকায় উহার কৌণিক ভরবেগ (mvr) ধ্রুবক থাকিবে। ইহার ফলে সূতার দৈর্ঘ্য r ক্রমশঃ কমিতে থাকিলে প্রস্তরখণ্ডের বেগ v ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে যাহাতে কৌণিক ভরবেগ mvr ধ্রুবক থাকিতে পারে।

5-8. বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে ঘূর্ণমান কণার ত্বরণের পরিমাণ ও অভিমুখ নির্ণয় ঃ

মনে কর m ভরের একটি বস্তুকণা v পরিমাণ সমদ্রুতিতে একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতেছে যাহার কেন্দ্র O এবং ব্যাসার্ধ $OP=r$ [5-5 নং চিত্র]। যদি প্রথমে (যখন সময় $t=0$) কণাটি P স্থানে থাকে তাহা হইলে উহার বেগ v বৃত্তের P বিন্দুর স্পর্শক PN-এর দিকে থাকিবে। যদি **খুব অল্প সময়** পর (যখন সময় $t=\delta$) কণাটি বৃত্তের Q স্থানে যায় তাহা হইলে ঐ স্থানে উহার বেগ v বৃত্তের Q বিন্দুর স্পর্শক QR-এর দিকে থাকিবে। QR-কে পিছনের দিকে বর্ধিত করিলে উহা PN-কে M বিন্দুতে ছেদ করিবে। যদি কণা δ সেকেণ্ডে বৃত্তের কেন্দ্রে $\angle POQ=\theta$ কোণ (θ খুব ছোট) উৎপন্ন করে তাহা হইলে জ্যামিতিক নিয়মানুসারে $\angle QMN=\theta$। অতএব, যখন সময় $t=0$, তখন ঘূর্ণমান কণার



চিত্র 5.5 ঃ আবর্ত-ঘূর্ণনের ত্বরণ

$$\left.\begin{array}{l} PN\text{-এর দিকে বেগ} = v\cos 0^\circ = v \\ PO\text{-এর দিকে বেগ} = v\cos 90^\circ = 0 \end{array}\right\} \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots (5\text{-}8\ a)$$

যখন $t(=\delta)$ সেকেণ্ড পর কণা Q স্থানে পৌঁছিল তখন উহার বেগ v QR-এর দিকে থাকিবে। সুতরাং এই বেগের উপাংশ,

$$\left.\begin{array}{l} PN\text{-এর দিকে হইবে,} \quad \cdots \quad v\cos\theta = v \\ \text{এবং } PN\text{-এর লম্বের দিকে, অর্থাৎ } PO\text{-এর দিকে হইবে, } v\sin\theta = v\theta \end{array}\right\} \cdots (5\text{-}8\ b)$$

[δ খুব কম সময় হওয়ায়, θ খুব কম হইবে। কাজেই $\cos\theta=1$ এবং $\sin\theta=\theta$ রেডিয়ান হইবে।]

অতএব, δ সেকেণ্ড সময়ে কণার বৃত্তাকার পথের স্পর্শকের (PN-এর) দিকে বেগের পরিবর্তন হইবে $(v-v)=0$। কাজেই ঘূর্ণমান কণার কোন ত্বরণ, উহার বৃত্তাকার পথের স্পর্শকের দিকে থাকে না।

আবার, δ সেকেণ্ড সময়ে, কণার বৃত্তাকার পথের কেন্দ্রের দিকে উহার বেগের পরিবর্তন হইবে $v\theta-0=v\theta$। অতএব, বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখে ঘূর্ণমান কণার ত্বরণ $=f=v\theta/\delta=$ এক সেকেণ্ডে বেগের পরিবর্তন।

কিন্তু θ রেডিয়ান $=\dfrac{\text{বৃত্তচাপ } PQ}{\text{বৃত্তের ব্যাসার্ধ } r}=\dfrac{PQ}{r}$। সুতরাং $f=\dfrac{v}{r}\times\dfrac{PQ}{\delta}=\dfrac{v^2}{r}$

[$\because PQ/\delta=$ এক সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত পথ $=$ বেগ v]।

এক্ষণে প্রমাণিত হইল যে, m ভরের কোন বস্তুকণা সমদ্রুতি v-তে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরিতে থাকিলে, ঐ কণার উপর (v^2/r) পরিমাণ ত্বরণের সৃষ্টি হয় যাহা বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করিবে। কিন্তু $v=\omega r$, কাজেই

$$f=\frac{v^2}{r}=\frac{\omega^2r^2}{r}=\omega^2r \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots(5\text{-}8\,c)$$

5-9. অভিকেন্দ্র বল, অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বল ও অপকেন্দ্র বলের মধ্যে পার্থক্য ঃ

(a) অভিকেন্দ্র বল (Centripetal force) ঃ 5-8 পরিচ্ছেদে প্রমাণ করা হইয়াছে যে, m ভরের কোন বস্তুকণাকে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v পরিমাণ সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে থাকিলে ঐ কণার উপর v^2/r পরিমাণ ত্বরণ বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া করে। সুতরাং বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণমান কণার উপর যে বল, বৃত্তের কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া করিতে থাকিবে তাহার পরিমাণ হইবে mv^2/r। এই কেন্দ্রাভিমুখী বলকে **অভিকেন্দ্র বল** বলে। যখনই এই বল অপসারিত হইবে তখনই কণাটি বৃত্তের স্পর্শকের দিকে ধাবিত হইবে।

(b) অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বল (Centrifugal reaction) ঃ কোন বস্তুকণা যতক্ষণ বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে ততক্ষণ বৃত্তের কেন্দ্রস্থিত কোন বস্তুকে, ঐ ঘূর্ণমান কণার উপর mv^2/r পরিমাণ অভিকেন্দ্র বল বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে প্রয়োগ করিতে হয়, নতুবা কণাটি বৃত্তের স্পর্শকের দিকে চলিয়া যায়। এই ঘূর্ণমান কণা আবার কেন্দ্রস্থিত বস্তুর উপর একটি প্রতিক্রিয়া বল প্রয়োগ করে যাহার পরিমাণও mv^2/r এবং যাহার অভিমুখ কেন্দ্র হইতে বাহিরের দিকে। অতএব অভিকেন্দ্র বলের সমপরিমাণ বিপরীতমুখী প্রতিক্রিয়া বল যাহা কেন্দ্রস্থিত বস্তুর উপর

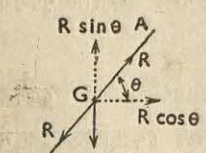
প্রযুক্ত থাকিয়া কেন্দ্র হইতে বাহিরের দিকে ক্রিয়া করে তাহাকে **অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বল** বলে। অভিকেন্দ্র বল ঘূর্ণমান বস্তুর উপর ক্রিয়া করে এবং কেন্দ্রের দিকে থাকে আর অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বল কেন্দ্রস্থিত বস্তুর উপর ক্রিয়া করে এবং কেন্দ্র হইতে বাহিরের দিকে থাকে।

(c) **অপকেন্দ্র বল** (Centrifugal force) : যখন কোন বস্তুকণা সমদ্রুতিতে একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে, তখন ঐ কণার গতিজড়তার জন্য উহার উপর অভিকেন্দ্র বলের সমপরিমাণ বল কেন্দ্রের বহিরাভিমুখে ক্রিয়া করে যাহাকে **অপকেন্দ্র বল** বলে। অভিকেন্দ্র এবং অপকেন্দ্র বল ঘূর্ণমান বস্তুর উপর বিপরীত দিকে একযোগে কাজ করে।

উদাহরণ :—মনে কর একটি সূতার একপ্রান্ত একটি ঢিলের সহিত বাঁধিয়া উহার অপরপ্রান্ত আঙ্গুলের সহিত জড়ানো হইল। এক্ষণে ঐ ঢিলকে বৃত্তাকার পথে ঘুরাইতে থাকিলে, আঙ্গুল সর্বদা ঐ ঘূর্ণমান ঢিলের উপর বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে বল প্রয়োগ করিতে থাকিবে যাহাকে **অভিকেন্দ্র বল** বলে। সূতা কাটিয়া দিলে, ঢিলের উপর আর অভিকেন্দ্র বল প্রযুক্ত থাকে না তাহার ফলে ঢিল বৃত্তের স্পর্শকের দিকে চলিয়া যায়। বৃত্তপথে ঘূর্ণমান ঢিল সূতার মধ্য দিয়া কেন্দ্রস্থিত হাতকে সর্বদা কেন্দ্রের বহিরাভিমুখে একটি বল দ্বারা টানে যাহাকে **অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বল** বলে। ঘূর্ণমান ঢিলের গতিজড়তার জন্য উহার উপর অভিকেন্দ্র বলের সমপরিমাণ বল কেন্দ্রের বহিরাভিমুখে ক্রিয়া করে যাহাকে **অপকেন্দ্র বল** বলে। ঢিলের উপর অভিকেন্দ্র বল এবং অপকেন্দ্র বল একযোগে বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে।

5-10. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের কয়েকটি ব্যবহারিক দৃষ্টান্ত :

(a) **বৃত্তাকার পথে সাইকেল আরোহীর গতি** : যখন কোন সাইকেল আরোহী r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v দ্রুতিতে সাইকেল চালাইতে থাকে তখন দেখা যায় যে সাইকেলসহ আরোহী ভূমির সহিত θ কোণ করিয়া বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে একটু হেলিয়া চলিতেছে। যদি সাইকেল এবং আরোহীর মোট ভর m হয় তাহা হইলে উহাদের ভারকেন্দ্র (G) হইতে mg পরিমাণ ওজন খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিবে [5.6 নং চিত্র]। সাইকেল চালাইবার সময় আরোহী যদি ভূমির উপর GB-এর দিকে R পরিমাণ বল দ্বারা চাপ দেয় তাহা হইলে ভূমিও আরোহীর উপর R পরিমাণ প্রতিক্রিয়া বল BGA-এর দিকে প্রয়োগ করিবে। এই প্রতিক্রিয়া বল R-এর দুইটি উপাংশ পাওয়া যাইবে। একটি অংশ $R \cos \theta$ বৃত্তাকার



চিত্র 5.6 : সাইকেল আরোহীর গতি

পথের কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া করিয়া সাইকেল আরোহীকে বৃত্তাকার পথে ঘুরাইবার প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বলের (mv^2/r) যোগান দিবে। R-এর উল্লম্ব অংশ $R \sin \theta$ আরোহীসমেত সাইকেলের ওজন mg-কে নিষ্ক্রিয় করিবে। অতএব, $R \sin \theta = mg$ এবং $R\cos \theta = mv^2/r$। সুতরাং $\tan \theta = gr/v^2$ ··· (5-10 a)

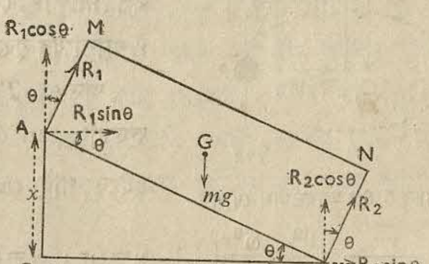
5-10(a) সমীকরণ হইতে জানা যাইতেছে যে আরোহীর দ্রুতি v যত বেশী হইবে এবং বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ r যত ছোট হইবে θ তত কম হইবে; অর্থাৎ, সাইকেলকে ভূমির সহিত আরও কম কোণে আনত করিতে হইবে।

(b) বক্রপথে রেললাইনের কিংবা রাস্তার ঢাল নির্ণয় (To determine the slope of a railway line or road in a curved path) ঃ

উঁচু-পাহাড়ে উঠিবার জন্য পাহাড়ের গা বরাবর চক্রাকারে যে রাস্তা নির্মাণ করা হয় তাহাকে ঐ বক্রপথের কেন্দ্রের দিকে ঢালু রাখা হয়। অর্থাৎ, ঐ বক্রপথের উঁচু দিকটা বাহিরের দিকে থাকে এবং নীচু দিকটা ভিতরের দিকে (বক্রপথের কেন্দ্রের দিকে) থাকে। রাস্তার অনুভূমিক প্রস্থ d হইলে উহার সহিত রাস্তার উপরপৃষ্ঠ যে θ কোণ উৎপন্ন করিবে তাহার মান নির্ভর করিবে রাস্তার বক্রতা-ব্যাসার্ধ r-এর উপর এবং ঐ রাস্তার উপর যত উচ্চতম গতিতে (v) গাড়ীকে চলিতে দেওয়া হইবে তাহার উপর। দেখান যাইতে পারে যে $\tan \theta = v^2/rg$। রাস্তার নিম্নাংশ হইতে উহার উপরাংশ যত বেশী উচ্চতায় রাখিতে হইবে তাহার পরিমাণ হইবে,

$$x = d \tan \theta = dv^2/rg \qquad \cdots \qquad (5\text{-}10a')$$

প্রমাণ ঃ ধরা যাক্, রাস্তা গাড়ীর (রেলগাড়ীর কিংবা মোটর গাড়ীর) বাহিরের এবং ভিতরের চাকার উপর যথাক্রমে R_1 ও R_2 প্রতিক্রিয়া বল AM ও BN-এর দিকে প্রয়োগ করিতেছে [5.7 নং চিত্র]। R_1 প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক এবং উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে $R_1 \sin \theta$ এবং $R_1 \cos \theta$ হইবে। অনুরূপ-ভাবে R_2 প্রতিক্রিয়া বলের অনুভূমিক ও উল্লম্ব উপাংশ যথাক্রমে $R_2 \sin \theta$ এবং $R_2 \cos \theta$ হইবে। দুই প্রতিক্রিয়া বলের (R_1 ও R_2) মোট অনুভূমিক অংশ, গাড়ীকে বক্রপথে চালাইবার জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বলের যোগান দিতেছে এবং



চিত্র 5.7 ঃ রাস্তার ঢাল

ঐ দুই প্রতিক্রিয়া বলের মোট উল্লম্ব অংশ গাড়ীর ওজন mg-কে নিষ্ক্রিয় করিতেছে। সুতরাং

$$\left.\begin{aligned}(R_1+R_2)\sin\theta &= mv^2/r\\ \text{এবং } (R_1+R_2)\cos\theta &= mg\end{aligned}\right\}\quad \therefore\quad \tan\theta = v^2/rg \cdots \qquad \cdots(5\text{-}10\ b)$$

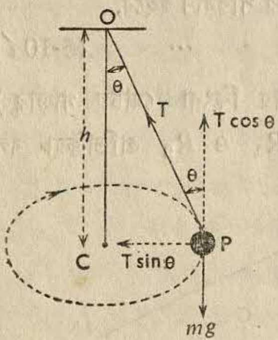
রাস্তার নিম্নাংশ (B) হইতে উপরাংশ (A) যে বেশী উচ্চতায় রাখিতে হইবে তাহার পরিমাণ হইবে $x = CA = d\tan\theta = dv^2/rg$ ... (5-10 c)

রাস্তার বক্রতা-ব্যাসার্ধ (r) অনুযায়ী রাস্তার আনত কোণ θ স্থির করিয়া গাড়ীর উচ্চতম গতি (v) নির্দিষ্ট করিয়া দেওয়া হয় যাহাতে গাড়ী ছিটকাইয়া বাহিরে চলিয়া যাইতে না পারে।

(c) আবর্তমান দোলকপিণ্ডের পর্যায়কাল নির্ণয় (Determination of the period of a Conical pendulum) ঃ—মনে কর l দৈর্ঘ্যের একটি সূতার (OP) উপর-প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে (O) বাঁধিয়া উহার নীচপ্রান্তে m ভরের একটি দোলকপিণ্ড P-কে বাঁধা হইল [5.8 নং চিত্র]। এক্ষণে সূতা এবং দোলকপিণ্ড যদি উল্লম্বরেখা OC-এর সহিত θ কোণ করিয়া r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে এই ঘূর্ণনের পর্যায়কাল হইবে

$$t = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}} \cdots \left[\text{এখানে } \tan\theta = \frac{r}{l\cos\theta}\right] \quad \cdots \quad (5\text{-}10\ d)$$

প্রমাণ ঃ সূতার টান (T), PO-এর দিকে ক্রিয়া করিতেছে। এই টানের ঊর্ধ্বমুখী উল্লম্ব উপাংশ $T\cos\theta$, দোলকপিণ্ডের ওজন mg-কে নিষ্ক্রিয় করিবে এবং উহার অনুভূমিক উপাংশ $T\sin\theta$, বৃত্তের কেন্দ্র C-এর দিকে ক্রিয়া করিয়া ঘূর্ণমান দোলকপিণ্ডের প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল (mv^2/r) যোগান দিতেছে [v=দোলক পিণ্ডের r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে রৈখিক গতির পরিমাণ]।



চিত্র 5.8 ঃ আবর্তমান দোলক

অতএব, $T\sin\theta = mv^2/r$; $T\cos\theta = mg$; সুতরাং $\tan\theta = v^2/rg$। কিন্তু 5.8 নং চিত্র হইতে পাই $\tan\theta = \dfrac{r}{l\cos\theta}$; সুতরাং

$$\frac{r}{l\cos\theta} = \frac{v^2}{rg} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad [\because\ v = \omega r\ ;\ \omega = \text{দোলকপিণ্ডের কৌণিক গতি}\ ]$$

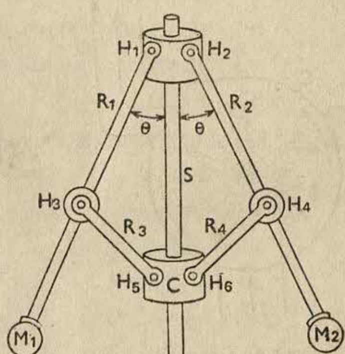
অথবা, $\omega^2 = \dfrac{g}{l\cos\theta}$; অথবা $\left(\dfrac{2\pi}{t}\right)^2 = \dfrac{g}{l\cos\theta}$;

অথবা, $$t = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}} = \sqrt{\frac{h}{g}} \quad \cdots \quad (5\text{-}10e)$$

ঘূর্ণনের সময়, যদি বিলম্ব বিন্দু (O) হইতে দোলকপিণ্ডের উল্লম্ব দূরত্ব h হয় তাহা হইলে $h=l\cos\theta$। সুতরাং $t=2\pi\sqrt{\frac{l\cos\theta}{g}}=2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$ ... ...(5-10f)

দোলকপিণ্ডের কৌণিকগতি ω যত বেশী হইবে, উহার পর্যায়কাল t তত কম হইবে এবং ইহার ফলে $l\cos\theta=h$ কম হইবে অর্থাৎ পিণ্ডটি উপরে উঠিতে থাকিবে [5-10 f]

(b) স্টীম এঞ্জিনের প্রধান ঘূর্ণনদণ্ডের ঘূর্ণনহার নিয়ামক (Governor of a steam engine) :—এই যন্ত্রটির সাহায্যে স্টীম এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ডের ঘূর্ণন-হার অপরিবর্তিত রাখা যায় [5.9 চিত্র]। ইহার উল্লম্ব দণ্ড S, এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ডের (main shaft) সহিত যুক্ত করা থাকে যাহার জন্য ইহার এবং এঞ্জিনের মূলদণ্ডের ঘূর্ণনের হার একই হয়। এই S দণ্ডের উপরের দিকের দুই পাশে দুইটি বিন্দুর (H_1 ও H_2) সহিত এক জোড়া ঘূর্ণন-ক্ষম পেণ্ডুলাম (Conical pendulum) (H_1M_1 ও H_2M_2) যুক্ত করা থাকে যাহারা যথাক্রমে H_1 ও H_2 বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতে পারে। S দণ্ডের নীচে একটি ফাঁপা চোঙ (C) আছে যাহার অক্ষ S দণ্ডের অক্ষের সহিত মিলিয়া থাকে। এই ফাঁপা চোঙটি S দণ্ড বরাবর উঠানামা করিতে পারে। H_1M_1 ও H_2M_2 পেণ্ডুলাম দুইটিকে এই চলনক্ষম চোঙের (C) সহিত যথাক্রমে R_3 ও R_4 দণ্ডদ্বয় দ্বারা এমনভাবে যুক্ত করা থাকে যাহাতে প্রত্যেকটি দণ্ড তাহার যুক্ত প্রান্তদ্বয়কে কেন্দ্র করিয়া ঘুরিতে পারে। উল্লম্ব দণ্ড S যখন খুব জোর কিংবা আস্তে ঘোরে তখন পেণ্ডুলাম দুইটির ঘূর্ণন কোণ θ যথাক্রমে বেশী কিংবা কম হয় এবং ইহার ফলে পেণ্ডুলাম দুইটির পিণ্ড (M_1 ও M_2) ও চোঙ C উপরে উঠিবে কিংবা নীচে নামিবে। এই চোঙের (C) সহিত একটি লীভার (lever) যুক্ত থাকে যাহার সাহায্যে থ্রোটল ভালভ্‌কে আংশিক কিংবা সম্পূর্ণভাবে খোলা যায়।

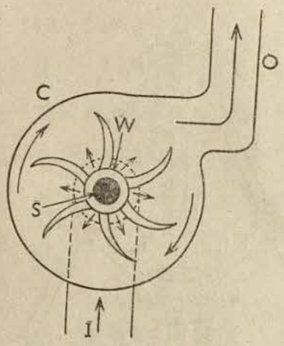


চিত্র 5.9 : ষ্টিম এঞ্জিনের ঘূর্ণনহার নিয়ামক

ক্রিয়া—যখন থ্রোটল ভালভের মধ্য দিয়া বেশী পরিমাণ ষ্টীম আসে তখন এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ড (main shaft) এবং সেইসঙ্গে S দণ্ডও জোরে ঘুরিতে থাকে। ইহার ফলে পেণ্ডুলাম দুইটি জোরে ঘুরিতে থাকে এবং উহাদের ঘূর্ণন কোণ θ বেশী হইয়া যায়। এই কোণ (θ) বেশী হইলে চোঙ C, S দণ্ডের উপরে উঠিয়া লীভারের সাহায্যে

থ্রোটল ভালভের মুখ আংশিক বন্ধ করিয়া দেয়, যাহার জন্য কম পরিমাণ স্টীম আসিয়া এঞ্জিনের ঘূর্ণন-দণ্ডের ঘূর্ণন হার কমাইয়া দেয়। আবার যখন এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ডের ঘূর্ণনহার কমিয়া যায় তখন পেণ্ডুলাম দুইটির ঘূর্ণন কোণও (θ) কম হয় এবং ফাঁপা চোঙ (C) নীচে নামিয়া আসিয়া লীভারের সাহায্যে থ্রোটল ভালভকে বেশী পরিমাণে খুলিয়া দেয়। এক্ষণে বেশী পরিমাণে স্টীম আসিয়া এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ডকে জোরে ঘুরাইতে থাকিবে। এইভাবে এই যন্ত্রের সাহায্যে এঞ্জিনের মূল ঘূর্ণনদণ্ডের ঘূর্ণনহার অপরিবর্তিত রাখা হয়।

(e) **কেন্দ্রাতিগ পাম্প (Centrifugal pump)**:—এই পাম্পের ক্রিয়া অপকেন্দ্র বলের প্রয়োগের উপর নির্ভরশীল। ইহার সাহায্যে নীচের জলাধারের জলকে নিরবচ্ছিন্নভাবে উপরের চৌবাচ্চায় তোলা যায়। ইহাতে একটি শক্ত ধাতব আবরণ (C) আছে যাহার মধ্যে বাঁকানো পাতযুক্ত একটি চাকাকে (W) ঘুরান যায়। এই চাকাকে (W) একটি ঘূর্ণনদণ্ড S-এর সহিত দৃঢ়ভাবে যুক্ত করা থাকে। বৈদ্যুতিক মোটরের সাহায্যে যখন S দণ্ডকে ঘুরানো হয় তখন চাকাটিও, তাহার সহিত যুক্ত পাত-সমেত, আবরণের (C) মধ্যে ঘুরিতে থাকে [5.10 নং চিত্র]। ঘূর্ণনদণ্ডের নিকট হইতে জলাধার পর্যন্ত একটি নল থাকে যাহাকে জলের আগম-নল (I) বলে। এই নলের সাহায্যে জল নীচের জলাধার হইতে ধাতব আবরণের মধ্যে শোষিত হয়। ধাতব আবরণের সহিত একটি উল্লম্ব নির্গম-নল (O) যুক্ত থাকে যাহার মধ্য দিয়া জল উপরে যাইয়া একটি চৌবাচ্চায় জমা হয়।



চিত্র 5.10 : কেন্দ্রাতিগ পাম্প

ক্রিয়া—মনে করা যাক আবরণটি প্রথমেই জল দ্বারা পূর্ণ-করা আছে। এক্ষণে চাকাকে (W) ঐ জলের মধ্যে দ্রুত ঘুরাইতে থাকিলে জলও দ্রুত ঘুরিতে থাকিবে যাহার ফলে ঐ ঘূর্ণমান জলের উপর একটি অপকেন্দ্র বলের সৃষ্টি হইবে। এই অপকেন্দ্র বলের প্রভাবে জল বাহিরে যাইবার চেষ্টা করিবে কিন্তু ধাতব আবরণে বাধাপ্রাপ্ত হইয়া উহার উপর (ধাতব আবরণের উপর) প্রচণ্ড চাপ প্রয়োগ করিবে। এই চাপের প্রতিক্রিয়ার ফলে জল নির্গম-নল O-এর মধ্য দিয়া উপরে উঠিতে থাকিবে এবং অবশেষে উপরের চৌবাচ্চায় জমা হইবে। এইভাবে চাকাকে যতক্ষণ মোটর দ্বারা ঘুরানো হইবে ততক্ষণ জল নির্গম-নল (O) দিয়া নিরবচ্ছিন্নভাবে প্রবাহিত হইয়া উপরের চৌবাচ্চায় জমা হইতে থাকিবে।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 5]

1. রৈখিক ও ঘূর্ণনগতি বলিতে কি বুঝ? উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ স্থির কর। উহাদের একক কি হইবে? [Arts. 5-1 ও 5-2]

2. কৈণিক ত্বরণ ও কৌণিক ত্বরণের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের একক কি হইবে? উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ নির্ণয় কর। [Art. 5-3]

3. বলের ভ্রামক কাহাকে বলে? বলের ভ্রামকের বাস্তব তাৎপর্য কি? বস্তুর উপর বল প্রয়োগ করা সত্ত্বেও উহার ভ্রামক কখন (i) শূন্য হয় (ii) সর্বোচ্চ হয়? সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বলের ভ্রামকের একক কি হইবে? [Art. 5-4]

4. দ্বন্দ্ব বলিতে কি বুঝ? দ্বন্দ্বের ভ্রামক কিভাবে নির্ণয় করা হয়? দ্বন্দ্বের ক্রিয়া কখন (i) সর্বাপেক্ষা বেশী হয় (ii) শূন্য হয়? একটি দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 5-5]

5. কোন কণার রৈখিক ভরবেগ এবং কৌণিক ভরবেগ কিভাবে নির্ণয় করা হয়? কোন দৃঢ় বস্তুর কৌণিক ভরবেগ নির্ণয় কর এবং দেখাও যে উহা বস্তুর জাড্যের ভ্রামক এবং বস্তুর কৌণিক বেগের গুণ-ফলের সহিত সমান। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে বস্তুর কৌণিক ভরবেগের একক কি হইবে? [Art. 5-6]

6. ঘূর্ণমান বস্তুর উপর ক্রিয়াশীল টর্কের পরিমাণ নির্ণয় কর। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে ইহার একক কি হইবে? কৌণিক ভরবেগের সহিত টর্কের কি সম্বন্ধ? [Art, 5-6]

7. কৌণিক ভরবেগের সংরক্ষণ সূত্রটি বিবৃত কর এবং একটি উদাহরণ দ্বারা উহা বুঝাইয়া দাও। [Art. 5-7]

8. যখন কোন কণা সমদ্রুতিতে (v) একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকে তখন প্রমাণ কর যে কণার উপরে সর্বদা একটি ত্বরণ ক্রিয়া করে যাহার পরিমাণ v^2/r এবং যাহার অভিমুখ সর্বদা কেন্দ্রের দিকে। এখানে r বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ। [Art. 5-8]

9. অভিকেন্দ্র বল, অপকেন্দ্র বল এবং অপকেন্দ্র প্রতিক্রিয়া বলের মধ্যে পার্থক্য একটি দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 5-9]

10. অভিকেন্দ্র ও অপকেন্দ্র বলের কয়েকটি ব্যবহারিক দৃষ্টান্তের উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [Art. 5-10]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 5]

A. Multiple choice type : (1) কোন বস্তুর উপর দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত থাকিলে বস্তুটির কি অবস্থা হয়?—বস্তুটি ঘুরিতে থাকে যতক্ষণ না দ্বন্দ্বের বল দুইটি এক সরলরেখায় আসে ; বস্তুটি সরলরেখা ধরিয়া সমবেগে চলিতে থাকে ; বস্তুটি নিরবচ্ছিন্নভাবে সমদ্রুতিতে ঘুরিতে থাকে। (2) চক্রাকার রাস্তা প্রস্তুত করিতে উহার বহির্ভাগ উঁচু রাখা হয় কেন?—রাস্তাকে ঢালু করার জন্য যাহাতে বৃষ্টির জল রাস্তায় দাঁড়াইতে না পারে ; রাস্তায় চলন্ত গাড়ীর বাহিরের এবং ভিতরের চাকার উপর যে প্রতিক্রিয়া বল প্রযুক্ত হয় তাহাদের অনুভূমিক উপাংশ যাহাতে অভিকেন্দ্র বলের যোগান দিতে পারে। (3) কোন কণা যখন সমদ্রুতিতে বৃত্তাকার পথে ঘোরে তখন উহার উপর কোন ত্বরণ থাকে কি?—যেহেতু কণা প্রতি সেকেণ্ডে একই রাস্তা যাইতেছে, সেইহেতু উহার কোন ত্বরণ থাকিবে না ; কণার বেগের পরিমাণ স্থির থাকিলেও উহার অভিমুখ সর্বদা পরিবর্তিত হইতেছে, এই কারণে উহার ত্বরণ থাকিবে।

B. Recall type : (1) একটি ঘূর্ণমান বস্তুর বিভিন্ন কণার উপর যে বিভিন্ন পরিমাণ—ক্রিয়া করে তাহাদের—বীজগণিতিক যোগফল একটি দ্বন্দ্ব হইবে, যাহাকে—বলে। (2) কোন বলের ঘূর্ণনক্ষমতা

নির্ভর করিবে বলের—উপর এবং বস্তুর ঘূর্ণন বিন্দু হইতে বলের ক্রিয়া রেখার উপর যে—টানা হয় তাহার দৈর্ঘ্যের উপর। (3) কোন বস্তুকে—পথে সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে হইলে ঐ বস্তুর উপর সর্বদা একটি বল প্রয়োগ করিতে হয় যাহাকে—বল বলে এবং যাহার অভিমুখ সর্বদা বৃত্তের—দিকে থাকে।

C. True or False type : (1) কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল বস্তুর যেমন রৈখিক সরণ করিতে পারে, আবার সুযোগ পাইলে বস্তুকে একটি বিন্দু বা অক্ষের চারিদিকে ঘুরাইতেও পারে। (2) কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত দ্বন্দ্ব বস্তুকে জোরে ঘুরাইবে কি আস্তে ঘুরাইবে তাহা কেবলমাত্র দ্বন্দ্বের বলের পরিমাণের উপর নির্ভর করে। (3) বৃত্তাকার পথে কোন লোক যখন সাইকেল চালায় তখন সাইকেলের গতি যত বেশী হয় সাইকেলকে তত বেশী বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে কাত করিতে হয়।

কষা-অঙ্ক (Worked out Sums) [অধ্যায় 5]

1. একটি ঢিল এক মিটার সূতার একপ্রান্তে বাঁধিয়া উহাকে মিনিটে 150 বার করিয়া ঘুরান হইতেছে। কণাটির (i) কৌণিক বেগ (ii) রৈখিক বেগ, (iii) আবর্তন কাল এবং (iv) কণাটির 90° ঘুরিবার সময় নির্ণয় কর।

উঃ। (i) ঢিলটি এক মিনিটে $2\pi \times 150$ রেডিয়ান কোণ উৎপন্ন করিতেছে। কাজেই উহার কৌণিক বেগ $\omega = \frac{\text{অঙ্কিত কোণ}}{\text{সময়}} = \frac{300\pi}{60} = 5\pi$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড।

(ii) রৈখিক বেগ $= v = \omega r = 5\pi \times 100 = 500\pi$ সে. মি./সেকেণ্ড।

(iii) আবর্তন কাল $T =$ বৃত্তকে একবার আবর্তন করিতে যে সময় লাগে $= \frac{60}{150} = \frac{2}{5}$ সেকেণ্ড।

(iv) ঢিলটির 360° ঘুরিতে $\frac{2}{5}$ সেকেণ্ড সময় লাগে। অতএব উহার 90° ঘুরিতে সময় লাগিবে $t = \frac{2 \times 90}{5 \times 360} = \frac{1}{10}$ সেকেণ্ড।

2. একটি বালক ঘূর্ণমান চাকার উপর ঘণ্টায় 8 কিলোমিটার বেগে দৌড়াইতেছে কিন্তু সে পারিপার্শ্বিক বস্তুর তুলনায় স্থির থাকিতেছে। চাকাটির ব্যাসার্ধ এক মিটার হইলে চাকার কৌণিক বেগ কত হইবে ?

উঃ। বালকটি পারিপার্শ্বিক বস্তুর তুলনায় যখন স্থির থাকিতেছে তখন চাকাটি যে কৌণিক বেগে যে দিকে ঘুরিতেছে, বালকটিও সেই কৌণিক বেগে চাকার উপর বিপরীত দিকে দৌড়াইতেছে। বালকটির কৌণিক বেগ $= \omega = v/r = 8 \times 10^5/100 = 8 \times 10^3$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড $=$ চাকার কৌণিক বেগ।

3. একটি দুই মিটার লম্বা সূতার একপ্রান্ত একটি খুঁটিতে বাঁধিয়া উহার অপর প্রান্তে এক কিলোগ্রাম ভরের বস্তুকে বাঁধা হইল। সূতাটি যদি 300 কিলোগ্রাম-ভারের বেশী টান সহ্য করিতে না পারে তাহা হইলে বস্তুটিকে প্রতি সেকেণ্ডে কতবার ঘুরান যাইতে পারে যাহাতে সূতাটি ছিঁড়িয়া না যায় ?

উঃ। সূতাটি ছিঁড়বে না, যখন বস্তুর উপর অপকেন্দ্র বল = সূতার টান। অর্থাৎ, $m\omega^2 r = 300 \times 10^3 \times 980 = 6 \times 49 \times 10^6$। বস্তুটিকে যদি প্রতি সেকেণ্ডে n সংখ্যকবার ঘুরান হয় তাহা হইলে উহার কৌণিক বেগ হইবে $\omega = 2\pi n$ রেডিয়ান। অতএব $10^3 (2\pi n)^2 \times 200 = 6 \times 49 \times 10^6$ অথবা $n = 5{\cdot}7$। অতএব সূতাটিকে সেকেণ্ডে 5·7 বারের বেশী ঘুরানো যাইবে না।

4. একটি সেতুর উপরে যে রাস্তা আছে তাহা 60 ফুট ব্যাসার্ধের একটি উল্লম্ব বৃত্তচাপের আকারে। একটি মোটরগাড়ীর উচ্চতম বেগ কত হইবে যাহাতে গাড়ীটি সেতুর উচ্চতম স্থানেও রাস্তাকে স্পর্শ করিয়া থাকিতে পারে?

উঃ। রাস্তার উচ্চতম স্থানে, গাড়ীর ওজন = গাড়ীর উপর অপকেন্দ্র বল। অর্থাৎ, $mg = mv^2/r$। অথবা, $v = \sqrt{rg} = \sqrt{60 \times 32} = 43{\cdot}62$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 5]

1. পৃথিবী তাহার অক্ষের চারিদিকে 24 ঘণ্টায় একবার আবর্তন করে। বিষুবরেখার উপর কোন লোকের রৈখিক ও কৌণিক বেগ কত হইবে? পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে বিষুবরেখার দূরত্ব 6400 কিলোমিটার।

[**Ans.** কৌণিক বেগ $= 7{\cdot}27 \times 10^{-5}$ রেডিয়ান $= 4{\cdot}17 \times 10^{-3}$ ডিগ্রী প্রতি সেকেণ্ডে; রৈখিক বেগ $= 465{\cdot}28$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে]

2. একটি ঘড়ির মিনিটের কাঁটার অগ্রবিন্দুর বেগ, উহার ঘণ্টার কাঁটার অগ্রবিন্দুর বেগের 20 গুণ বেশী। ঘণ্টার কাঁটার দৈর্ঘ্য 3 cm. হইলে মিনিটের কাঁটার দৈর্ঘ্য কত হইবে? [**Ans.** 5 সে.মি.]

সংকেত : [মিনিটের কাঁটার কৌণিক বেগ $= \omega_1 = \frac{2\pi}{3600}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড। ঘণ্টার কাঁটার কৌণিক বেগ $= \omega_2 = \frac{2\pi}{12 \times 3600}$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড। অতএব $\frac{\omega_1}{\omega_2} = 12$। মিনিটের এবং ঘণ্টার কাঁটার অগ্রবিন্দুর রৈখিক বেগ যথাক্রমে v_1 ও v_2 হইলে $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\omega_1 r_1}{\omega_2 r_2}$। কিন্তু $v_1 = 20v_2$; $\omega_1 = 12\omega_2$ এবং $r_2 = 3$ cm.। কাজেই, $20 = 12 \times \frac{r_1}{3}$; অথবা, $r_1 = \frac{20 \times 3}{12} = 5$ সে. মি.]

3. 6 কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তুকে 3 মিটার লম্বা একটি সূতার এক প্রান্তে বাঁধিয়া উহাকে 2 মিটার / সেকেণ্ড বেগে ঘুরানো হইতেছে। সূতার টান কত হইবে? ($T = mv^2/r$)

[**Ans.** $T = 8 \times 10^5$ ডাইন]

4. একটি রেলগাড়ী ঘণ্টায় 45 কিলোমিটার বেগে একটি চক্রাকার রাস্তায় চলিতেছে যে রাস্তার বক্রতার ব্যাসার্ধ 300 মিটার। যদি দুইটি রেলের মধ্যের অনুভূমিক দূরত্ব 2 মিটার হয় তাহা হইলে বাহিরের রেলকে ভিতরের রেল হইতে কত উঁচুতে রাখিতে হইবে? [$x = dv^2/rg$ প্রয়োগ কর]

[**Ans.** 10·63 সে. মি.]

5. 484 ব্যাসার্ধের একটি অনুভূমিক বৃত্তাকার পথে কোন রেলগাড়ী ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে যাইতেছে। গাড়ীর ছাদ হইতে একটি সূতা দ্বারা 8 পাউণ্ড ভরের একটি বস্তুকে ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। সূতাটিকে উল্লম্ব রাখিতে বস্তুর উপর কি পরিমাণ অনুভূমিক বল প্রয়োগ করিতে হইবে? [অনুভূমিক বল $= mv^2/r$]

[**Ans.** 32 পাউণ্ডাল]

6. 500 কিলোগ্রাম ভরের এবং 2 মিটার ব্যাসের একটি চাকা একটি অক্ষের চারিদিকে মিনিটে 500 বার ঘুরিতেছে। অক্ষটি চাকার কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিয়াছে এবং উহার তলের সহিত লম্বভাবে আছে। যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে চাকার সমস্ত ভর উহার পরিধির কোন এক বিন্দুতে কেন্দ্রিভূত হইয়া আছে তাহা হইলে চাকার (*i*) কৌণিক বেগ (ω) এবং (*ii*) কৌণিক ভরবেগ (J) কত হইবে?

[**Ans.** (*i*) চাকার কৌণিক বেগ $= \omega = 2\pi n = \frac{2\pi \times 500}{60} = \frac{50\pi}{3}$ radian/second। (*ii*) কৌণিক ভরবেগ $= J =$ বস্তুর জাড্যের ভ্রামক (I) $\times$ কৌণিক বেগ (ω)। অথবা,

$J = MR^2 \times \omega = (500 \times 10^3 \times 100^2) \times \frac{50\pi}{3} = 26{\cdot}18 \times 10^{10}$ গ্রাম-(সে.মি.)^2/সেকেণ্ড।

7. 6 সে. মি. ব্যাসার্ধের চাকা, একটি অক্ষরেখার চারিদিকে ঘুরিতে পারে, যে অক্ষরেখা চাকার তলের সহিত লম্বভাবে আছে এবং উহার কেন্দ্রের মধ্য দিয়া অতিক্রম করিয়াছে। চাকার পরিধির উপর একটি প্রায় ভরশূন্য সূতা জড়াইয়া ঐ সূতার মুক্তপ্রান্তে একটি 200 গ্রাম ভরের বস্তুকে বাঁধিয়া রাখা হইয়াছে। বস্তুটি যখন পড়িতে থাকে তখন উহা প্রথম 5 সেকেণ্ডে 100 সে. মি. নামিয়া আসে। চাকার কৌণিক ত্বরণ নির্ণয় কর। [**Ans.** $\alpha = 4/3$ রেডিয়ান/(সেকেণ্ড)^2]

সংকেত ঃ [বস্তুটি যদি f পরিমাণ রৈখিক ত্বরণে পড়ে তাহা হইলে 5 সেকেণ্ডে উহার অতিক্রান্ত রাস্তা $= s = \frac{1}{2}ft^2$; অথবা, $100 = \frac{1}{2}f \times 5^2$; অথবা, $f = 8$ সে. মি./(সেকেণ্ড)^2। কিন্তু রৈখিক ত্বরণ $f =$ কৌণিক ত্বরণ (α) $\times$ লম্ব দূরত্ব (r)। অথবা, $8 = \alpha \times 6$; অথবা, $\alpha = 4/3$ রেডিয়ান/সেকেণ্ড^2]

8. 200 গ্রাম ভরের একটি প্রস্তরখণ্ডকে 50 সে. মি. দৈর্ঘ্যের সূতা দ্বারা বাঁধিয়া উহাকে একটি অনুভূমিক বৃত্তের উপর ঘুরান হইতেছে। প্রস্তরখণ্ডটি যদি প্রতি দুই সেকেণ্ডে 5 বার আবর্তন করে তাহা হইলে বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে প্রস্তরখণ্ডের ত্বরণ কত হইবে এবং সূতার উপর কত টান পড়িবে?

[**Ans.** ত্বরণ $= 12337{\cdot}5$ সে. মি./সেকেণ্ড^2 ; সূতার উপরে টান পড়িবে $= 2467{\cdot}5 \times 10^3$ ডাইন]

9. একটি এক মিটার দৈর্ঘ্যের সূতার উপর $2{\cdot}5 \times 10^6$ ডাইন বল প্রয়োগ করিলে উহা ছিঁড়িয়া যায়। সূতার একপ্রান্ত একটি অনুভূমিক টেবিলের মধ্যভাগে স্থির রাখিয়া উহার মুক্ত প্রান্তে 250 গ্রামের একটি বস্তুকে বাঁধা হইল। সূতাটিকে প্রতি মিনিটে কত উচ্চতম সংখ্যকবার ঘুরাইলে সূতাটি ছিঁড়িয়া যাইবে না। [**Ans.** প্রতি মিনিটে উহার উচ্চতম ঘূর্ণন সংখ্যা $= 95{\cdot}5$]

10. একটি রেলগাড়ী, 2 কিলোমিটার ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার রাস্তায় ঘণ্টায় 30 কিলোমিটার বেগে ছুটিতেছে। 15 সেকেণ্ড সময়ে উহা কি পরিমাণ কোণ বৃত্তের কেন্দ্রে উৎপন্ন করিবে?

[**Ans.** $3^\circ\ 46{\cdot}7'$]

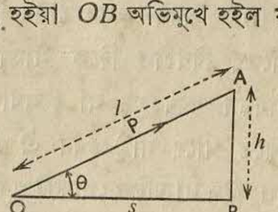
11. 10 গ্রাম ভরের একটি বস্তুকে একটি অনুভূমিক টেবিলের উপর রাখা হইল। ইহাকে লম্বা একটি সূতার একপ্রান্তে বাঁধিয়া সূতার অপরপ্রান্ত টেবিলের একটি গর্তের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া উহার সহিত 20 গ্রাম ভরের একটি বস্তু বাঁধিয়া রাখা হইল। টেবিলের গর্তটি 10 গ্রাম বস্তু হইতে 15 সে. মি. দূরে অবস্থিত। টেবিলের উপরিস্থিত 10 গ্রাম ভরের বস্তুকে কত রৈখিক বেগে ঘুরাইলে 20 গ্রাম ভরের বস্তুটি নীচের দিকে নামিতে পারিবে না? [10 গ্রাম বস্তুর উপর অভিকেন্দ্র বল $mv^2/r = 20$ গ্রাম বস্তুর উপর অভিকর্ষ বল] [**Ans.** $242{\cdot}5$ সে. মি./সেকেণ্ড].

অধ্যায়
6

কার্য, ক্ষমতা ও শক্তি
(Work, Power and Energy)

6-1. কার্য (Work) : যখন কোন বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত থাকে এবং সেই সঙ্গে বলের প্রয়োগবিন্দুর সরণও হয় তখন বলা হয় যে **কার্য** করা হইল। অতএব ফলপ্রসূ কার্য তখনই হইবে যখন বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত থাকিবে এবং সেই সঙ্গে বস্তুর সরণও হইবে। বস্তুর সরণ যদি বলের ক্রিয়ারেখার অভিমুখে হয় তাহা হইলে বলা হয় যে **প্রযুক্ত বল কার্য করিল**। কিন্তু বস্তুর সরণ যদি বলের ক্রিয়ারেখার বিপরীত দিকে হয় তাহা হইলে বলা হয় যে প্রযুক্ত **বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইল**। আর বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত থাকা সত্ত্বেও যদি উহার কোনরূপ সরণ না হয় তাহা হইলে কার্যের পরিমাণ শূন্য হইবে। অতএব আমরা লিখিতে পারি, **কৃতকার্যের পরিমাণ = বলের প্রয়োগ-বিন্দুর সরণ × সরণের অভিমুখে বলের কার্যকর অংশ**। নিম্নের আলোচনা হইতে ইহা পরিষ্কার বোঝা যাইবে।

মনে কর কোন বস্তুর O বিন্দুতে OA অভিমুখে P পরিমাণ বল প্রয়োগ করা হইল। কিন্তু ঐ বস্তুর সরণ OA অভিমুখে না হইয়া OB অভিমুখে হইল যাহা OA-এর সহিত θ কোণ করিয়া আছে [6.1 নং চিত্র]। বস্তুর সরণ OB-এর দিকে হওয়ার জন্য বলের কার্যকরী অংশ হইবে $P \cos \theta$। কাজেই বস্তুর সরণ যদি $OB = s$ হয় তাহা হইলে কৃতকার্যের পরিমাণ হইবে



চিত্র 6.1 : কার্যের পরিমাণ

$$W = P \cos \theta \times s \qquad \cdots \qquad (6\text{-}1\ a)$$

অনুসিদ্ধান্ত 1. যখন প্রযুক্ত বল P, বস্তুর সরণের দিকে অর্থাৎ OB-এর দিকে ক্রিয়া করে তখন $\theta = 0°$। এক্ষেত্রে **বলের দ্বারা কার্যের পরিমাণ $= P \times s =$ বল × সরণ**। এখানে বলের সম্পূর্ণ অংশই বস্তুকে সরাইতে কার্যকরী হইতেছে।

অনুসিদ্ধান্ত 2. যখন প্রযুক্ত বল P, বস্তুর সরণের বিপরীত দিকে (অর্থাৎ BO-এর দিকে) ক্রিয়া করে তখন $\theta = 180°$। কাজেই **বলের বিরুদ্ধে কার্য করা হইল যাহার পরিমাণ, $P \times s =$ বল × সরণ**। এখানে বলের সম্পূর্ণ অংশের বিরুদ্ধে কার্য করা হইতেছে।

অনুসিদ্ধান্ত 3. যখন বস্তুর উপর P পরিমাণ বল প্রয়োগ করা সত্ত্বেও বস্তুর সরণ s শূন্য হয় তখন বলের দ্বারা কিংবা বলের বিরুদ্ধে কোন কার্যই হইবে না।

অনুসিদ্ধান্ত 4. আবার যদি বস্তুর সরণরেখার সমকোণে বল প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে $\theta=90°$ হইবে এবং $\cos 90°=0$ হইবে। এই ক্ষেত্রেও বলের দ্বারা কার্যের পরিমাণ শূন্য হইবে।

উদাহরণ ঃ (i) m ভরের কোন বস্তুকে ভূমি OB হইতে h $(=AB)$ উচ্চতায় A স্থানে রাখিলে পৃথিবী উহার উপর mg পরিমাণ বল খাড়া নীচের দিকে (AB-এর দিকে) প্রয়োগ করিবে [6.1 নং চিত্র দেখ]। এক্ষণে বস্তুটিকে ছাড়িয়া দিলে উহা বলের অভিমুখে (AB অভিমুখে) খাড়া নীচের দিকে নামিয়া আসিবে। অতএব এখানে পৃথিবীর আকর্ষণ বল কার্য করিতেছে এবং এই কৃতকার্যের পরিমাণ = $mg\times h$ [**অনুসিদ্ধান্ত** 1]।

(ii) আবার m ভরের কোন বস্তুকে যদি ভূমি (B) হইতে h উচ্চতায় A স্থানে লইয়া যাওয়া হয় তাহা হইলে বস্তুর সরণ হইবে BA অভিমুখে। কিন্তু উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলে $(=mg)$ AB অভিমুখে ক্রিয়া করিতেছে যাহা বস্তুর সরণের বিপরীত দিকে। অতএব পৃথিবীর আকর্ষণ বলের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কাজ হইবে তাহা mgh হইবে। কাজেই অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে কার্যের পরিমাণ হইবে mgh [**অনুসিদ্ধান্ত** 2]।

(iii) যখন কোন লোক তাহার মাংসপেশীর সাহায্যে বল প্রয়োগ করিয়া নদীর স্রোতের বিপরীত দিকে সাঁতার দিতে চেষ্টা করে কিন্তু তীরভূমির তুলনায় তাহার কোনরূপ সরণ হয় না (অর্থাৎ লোকটি বল প্রয়োগ করা সত্ত্বেও স্থান পরিবর্তন করিতে পারে না) তখন ঐ লোকটির দ্বারা কিংবা স্রোতের বল দ্বারা কোনরূপ কাজ হইল না যদিও লোকটি খুবই পরিশ্রান্ত হইল। এখানে, বল P থাকা সত্ত্বেও সরণ $=s$ শূন্য হওয়ায় কাজের পরিমাণ $W=P\times s$ শূন্য হইল [**অনুসিদ্ধান্ত** 3]।

(iv) যখন m ভরের কোন বস্তুকণাকে r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v পরিমাণ সমদ্রুতিতে ঘুরান হয় তখন ঐ বস্তুকণার উপর mv^2/r পরিমাণ বল বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করে যাহাকে অভিকেন্দ্র বল বলে। এখানে বস্তুকণার সরণ বৃত্তের পরিধি বরাবর হইতেছে যাহা বলের ক্রিয়া রেখার সমকোণে অবস্থিত। কাজেই এখানে বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহা দ্বারা ঘূর্ণমান বস্তুর উপর কৃতকার্য শূন্য হইবে [**অনুসিদ্ধান্ত** 4]।

(v) মনে কর m ভরের কোন বস্তুকে ভূমি (OB) হইতে h উচ্চতায়, A স্থানে রাখা হইয়াছে। এখানে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলের পরিমাণ হইবে mg

এবং এই বল AB অভিমুখে ক্রিয়া করিতেছে [6.1নং চিত্র দেখ]। কিন্তু বস্তুটি যদি কেবলমাত্র AO অভিমুখে যাইতে পারে তাহা হইলে বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলের ($=mg$) যে অংশ বস্তুকে AO-এর দিকে সরাইতে কার্যকরী হইবে তাহার পরিমাণ হইবে $mg \sin \theta$। অতএব বলের দ্বারা কার্যের পরিমাণ = বস্তুর সরণ × বলের কার্যকরী অংশ $= AO \times mg \sin \theta = l \times mg \sin \theta$ [6-1 (a) **সমীকরণের উদাহরণ**]।

কার্যের একক : বলের পরিমাণ এবং বস্তুর সরণের গুণফল দ্বারা কার্যের পরিমাণ স্থিরীকৃত হয়। কাজেই কার্যের একক, বল ও সরণের এককের উপর নির্ভর করিবে। যদি বলের একক ডাইন, কিংবা পাউণ্ড-ভার (অথবা পাউণ্ডাল) লওয়া হয় এবং সরণের একক যথাক্রমে সেন্টিমিটার, কিংবা ফুট লওয়া হয় তাহা হইলে কার্যের এককের নাম হইবে ডাইন-সেন্টিমিটার (অথবা আর্গ) কিংবা ফুট-পাউণ্ড (অথবা ফুট-পাউণ্ডাল) [সংজ্ঞার জন্য 6-3 পরিচ্ছেদ দেখ]।

6-2. ক্ষমতা (Power) : কোন ব্যক্তির বা যন্ত্রের কৃতকার্যের হারকে উহার ক্ষমতা বলে। এক সেকেণ্ড সময়ে কোন ব্যক্তি বা যন্ত্র যে পরিমাণ কার্য করিবে তাহাই ঐ ব্যক্তির বা যন্ত্রের ক্ষমতার মাপ হইবে।

উদাহরণ :—মনে কর দুইজন লোক একই কূয়া হইতে একই পরিমাণ জল তুলিল। কিন্তু ঐ জল তুলিতে প্রথম লোকের যত সময় লাগিল দ্বিতীয় লোকের উহার দ্বিগুণ সময় লাগিবে। দ্বিতীয় লোকের কাজের হার প্রথম লোকের তুলনায় অর্ধেক হওয়ায়, দ্বিতীয় লোকের ক্ষমতাও প্রথম লোকের ক্ষমতার তুলনায় অর্ধেক হইবে, যদিও দুইজনেরই কাজের পরিমাণ সমান।

ক্ষমতার একক :—[ক্ষমতার বিভিন্ন এককের নাম ও সংজ্ঞা 6-3 পরিচ্ছেদে দেওয়া হইল]।

6-3. বিভিন্ন পদ্ধতিতে কার্য ও ক্ষমতার বিভিন্ন এককের নাম ও সংজ্ঞা :

পরপৃষ্ঠার ছকে, বিভিন্ন পদ্ধতিতে কার্য এবং ক্ষমতার বিভিন্ন এককের নাম ও সংজ্ঞা এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ দেওয়া হইল।

রাশির নাম	এককের প্রকার	সি. জি. এস্. পদ্ধতি	এফ্. পি. এস্. পদ্ধতি	পারস্পরিক সম্বন্ধ
কার্য (work)	চরম একক (Absolute unit)	কোন বস্তুর উপর এক ডাইন বল প্রয়োগ করিয়া যদি বলের প্রয়োগ-বিন্দুকে বলের অভিমুখে 1 cm. সরানো হয় তাহা হইলে ঐ বলের কার্যের পরিমাণকে **আর্গ** (erg) বলে।	কোন বস্তুর উপর এক পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করিয়া যদি বলের প্রয়োগ-বিন্দুকে বলের অভিমুখে এক ফুট সরানো হয় তাহা হইলে ঐ বলের কার্যের পরিমাণকে **ফুট-পাউণ্ডাল** (Foot-Poundal) বলে।	**এক ফুট-পাউণ্ডাল** = $(12\times2{\cdot}54)\times453{\cdot}6\times(12\times2{\cdot}54)$ আর্গ = $4{\cdot}214\times10^5$ **আর্গ**।
কার্য	অভিকর্ষিয় একক (Gravitational unit)	এক গ্রাম ভরের কোন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে খাড়া 1 cm. উচ্চে তুলিতে যে কার্য করা হয় তাহাকে **গ্রাম-সেন্টিমিটার** (gm.-cm.) বলে।	এক পাউণ্ড ভরের কোন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে খাড়া এক ফুট উচ্চে তুলিতে যে কার্য করা হয় তাহাকে **ফুট-পাউণ্ড** (Foot-Pound) বলে।	(i) **এক গ্রাম-সেন্টিমিটার** = 980 **আর্গ**। (ii) **এক ফুট-পাউণ্ড** = 32 **ফুট-পাউণ্ডাল**। (iii) **এক ফুট-পাউণ্ড** = $(12\times2{\cdot}54)\times453{\cdot}6=13825{\cdot}7$ **গ্রাম-সেন্টিমিটার**।
কার্য	ব্যবহারিক একক (Practical unit)	ব্যবহারিক ক্ষেত্রে 10^7 আর্গ কার্যকে এক **জুল** (Joule) ধরা হয়।	ব্যবহারিক ক্ষেত্রে **ফুট-পাউণ্ডকে** কার্যের একক ধরা হয়।	**এক ফুট-পাউণ্ড** = $(12\times2{\cdot}54)\times453{\cdot}6\times981=1{\cdot}356\times10^7$ **আর্গ** = $1{\cdot}356$ **জুল**।
ক্ষমতা	ব্যবহারিক একক (Practical unit)	(i) কোন শক্তি যদি প্রতি সেকেণ্ডে এক জুল কার্য করে তাহা হইলে তাহার ক্ষমতা হইবে এক **ওয়াট** (Watt)। (ii) **কিলো-ওয়াট** = 1000 ওয়াট।	কোন শক্তি যদি প্রতি সেকেণ্ডে 550 ফুট-পাউণ্ড কার্য করে তাহা হইলে তাহার ক্ষমতা হইবে এক **অশ্ব-ক্ষমতা** (Horse-Power)।	**এক অশ্ব-ক্ষমতা** = $550(12\times2{\cdot}54\times453{\cdot}6\times981)$ আর্গ/সেকেণ্ড = $550\times1{\cdot}356$ জুল/সেকেণ্ড = 746(প্রায়) **ওয়াট**।

6-4. শক্তি (Energy) ঃ শক্তির অস্তিত্ব যদিও আমরা আমাদের ইন্দ্রিয়ের সাহায্যে অনুভব করিতে পারি কিন্তু বস্তুর ন্যায় ইহার কোন ওজন নাই কিংবা ইহা কোনও স্থান অধিকার করিতে পারে না। কোন বাস্তব মাধ্যমের সাহায্য লইয়া শক্তি আত্মপ্রকাশ করে। কাজেই শক্তির সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

সংজ্ঞা ঃ—যাহা কোন বস্তুর সহিত যুক্ত থাকিয়া উহাকে কাজ করিবার সামর্থ্য দেয় তাহাকেই **শক্তি** বলে এবং ঐ শক্তিযুক্ত বস্তু যে পরিমাণ কাজ করিবে তাহার পরিমাণ-ই প্রযুক্ত শক্তির পরিমাপ হইবে।

শক্তির একক ঃ—বস্তুর উপর প্রযুক্ত শক্তি বস্তুর সাহায্যে যে পরিমাণ কাজ করে তাহার দ্বারাই যখন শক্তির পরিমাপ স্থির করা হয় তখন কার্যের একক যাহা হইবে, শক্তির এককও তাহাই হইবে। কার্যের যে সব বিভিন্ন একক 6-3 পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে উহাই শক্তির একক হইবে।

শক্তির বিভিন্ন রূপ ও রূপান্তর ঃ [1-6 পরিচ্ছেদ দেখ].

শক্তির সংরক্ষণ সূত্র (Principle of conservation of energy) ঃ [1-6 পরিচ্ছেদ দেখ]।

পারমাণবিক শক্তি (Atomic energy) ঃ [1-7 পরিচ্ছেদ দেখ]।

6-5. যান্ত্রিক শক্তির বিভিন্ন রূপ (Different forms of mechanical energy) ঃ যান্ত্রিক শক্তি দুইটি বিভিন্ন রূপে থাকিতে পারে, যথা—(a) স্থিতিশক্তি ও (b) গতিশক্তি।

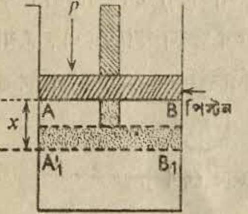
(a) **স্থিতিশক্তি** (Potential energy) ঃ—সাধারণতঃ বস্তুর কোন একটি বিশিষ্ট অবস্থায় উহাতে সঞ্চিত শক্তি শূন্য ধরা হয়। বস্তুর এই বিশিষ্ট অবস্থাকে উহার **স্বাভাবিক** (standard) অবস্থা বলা হয়। অতএব, কোন বস্তুকে উহার স্বাভাবিক অবস্থা হইতে অন্য কোন অবস্থায় লইয়া গেলে উহাতে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত হয় তাহাই বস্তুর ঐ অবস্থার জন্য **স্থিতিশক্তি** হইবে।

সংজ্ঞা ঃ—কোন বস্তুকে তাহার স্বাভাবিক অবস্থা হইতে অন্য কোন অবস্থায় লইয়া গেলে, বস্তুটি বর্তমান অবস্থায় যে শক্তি সঞ্চয় করে তাহাকে উহার **স্থিতিশক্তি** বলে এবং বস্তুটিকে বর্তমান অবস্থায় লইয়া যাইতে যে পরিমাণ কার্য করিতে হইল তাহাই বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাপ হইবে।

উদাহরণ ঃ—(i) যদি কোন নির্দিষ্ট স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান g হয় তাহা হইলে m ভরের বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল, অর্থাৎ বস্তুর ওজন হইবে mg। এই ওজনের বিরুদ্ধে যদি বস্তুকে উল্লম্ব দিকে h উচ্চতায় লইয়া যাওয়া হয় তাহা হইলে

অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে যে কাজ করা হইল তাহার পরিমাণ হইবে mgh। এই পরিমাণ কার্য বস্তুর মধ্যে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত রহিল। বস্তুর এই স্থিতিশক্তিকে **অভিকর্ষ-জনিত স্থিতিশক্তি** বলে যাহার পরিমাণ হইবে $P=mgh$। বস্তুটি যখন পৃথিবীর উপরতলে আসিবে (যাহাকে স্বাভাবিক অবস্থা ধরা হয়) তখন $h=0$ হইবে। কাজেই ভূমিতলে অভিকর্ষজনিত স্থিতিশক্তি শূন্য হয়।

(ii) মনে কর পিস্টনযুক্ত একটি চোঙে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় $(=T^{\circ}C)$ এবং চাপে $(=p)$ কোন গ্যাসকে আবদ্ধ করিয়া রাখা হইয়াছে [6.2 নং চিত্র]। পিস্টনের উপর চাপের পরিমাণ p হওয়ায় উহার একক প্রস্থচ্ছেদের উপর অভিলম্ব-বল হইবে p। যদি পিস্টনের প্রস্থছেদ α হয় তাহা হইলে পিস্টনের উপরে (এবং গ্যাসের উপরেও) মোট প্রযুক্ত বলের পরিমাণ হইবে $p\alpha$। এক্ষণে গ্যাসের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া যদি পিস্টনকে খুব সামান্য দূরত্ব x দ্বারা নীচে নামানো হয় যাহাতে গ্যাসের উপরে চাপের $(=p)$ বিশেষ তারতম্য না হয় তাহা হইলে প্রযুক্ত বল গ্যাসের উপর যে কার্য করিল তাহার পরিমাণ হইবে $W=$ বল $\times$ সরণ $=p\alpha\times x=pv$। এখানে $\alpha x=v$ = গ্যাসের আয়তন-সংকোচন। এই pv পরিমাণ কার্য দ্বারা গ্যাসের আয়তন v দ্বারা কমানো হইয়াছে। অতএব, গ্যাসের এই **সংকোচন-জনিত স্থিতিশক্তির** বৃদ্ধির পরিমাণ হইবে, $p\times v=$ **চাপ × আয়তন-সংকোচন**।



চিত্র 6.2 :

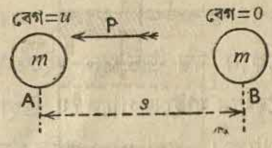
(iii) ঘড়িতে চাবি দেওয়ার সময় উহার মেন স্প্রিংকে সংকুচিত করিতে আমাদের শক্তি ব্যয় করিয়া কিছু কাজ করিতে হয়। এই ব্যয়িত শক্তিই স্প্রিং-এ স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে যাহার সাহায্যে ঘড়ির কাঁটা চলিতে থাকে। স্প্রিং-এ সঞ্চিত এই স্থিতিশক্তিকেও **সংকোচন-জনিত স্থিতিশক্তি** (Compressional potential energy) বলে।

(b) **গতিশক্তি** (**Kinetic energy**) ঃ কোন বস্তু কেবলমাত্র তাহার গতির জন্য যে শক্তির অধিকারী হয় তাহাই বস্তুর গতিশক্তি হইবে। **যথা**—(i) রেল-গাড়ী যখন প্রচণ্ড বেগে ধাবিত হইয়া আমাদিগকে খুব অল্প সময়ে একস্থান হইতে অন্য কোন দূরবর্তী স্থানে লইয়া যায় তখন গাড়ীর এই হিতকারী ক্ষমতা উহার গতি হইতেই সংগৃহীত হয়। (ii) বন্যার সময় নদীর জল যখন প্রচণ্ড বেগে প্রবাহিত হয়, তখন ঐ জল বাড়ীঘর, গাছপালা, জীবজন্তু, প্রভৃতিকে ভাসাইয়া লইয়া যায়। এখানে জলের এই ধ্বংসকারী ক্ষমতা জলের গতি হইতেই সংগৃহীত হইয়া থাকে। (iii) বায়ুপ্রবাহ যখন নৌকার পালে লাগাইয়া নৌকাকে নদীর স্রোতের বিপরীত দিকে চালনা করা

হয় তখন নৌকাকে স্রোতের বলের বিরুদ্ধে যে কাজ করিতে হয় তাহা বায়ুর গতিশক্তি হইতেই সংগৃহীত হয়। কাজেই কোন বস্তুর গতির জন্য যে ক্ষমতা (ধ্বংসকারী কিংবা হিতকারী ক্ষমতা) পাওয়া যায় তাহার পরিমাণই ঐ গতিশীল বস্তুর গতিশক্তি হইবে।

সংজ্ঞা ঃ—কোন সচল বস্তু তাহার গতির জন্য যে শক্তির অধিকারী হয় তাহাই ঐ বস্তুর গতিশক্তি হইবে এবং ঐ সচল বস্তুকে একটি ধ্রুবক বল দ্বারা থামাইতে গেলে, বস্তুটি থামিয়া যাইবার পূর্বে ঐ ধ্রুবক বলের বিরুদ্ধে যে পরিমাণ কার্য করিবে তাহাই বস্তুটির গতিশক্তির পরিমাপ হইবে।

কণার রৈখিক গতির জন্য গতিশক্তি ঃ মনে কর m ভরের কোন বস্তু u পরিমাণ সমবেগে AB-এর দিকে যাইতেছে [6.3 নং চিত্র]। A স্থানে উহার গতিশক্তির পরিমাপ পাইতে হইলে, উহার গতির বিপরীত দিকে (অর্থাৎ BA-এর দিকে) P পরিমাণ একটি ধ্রুবক বল প্রয়োগ করিতে হইবে। এই বিরুদ্ধ-বলের ক্রিয়ায় বস্তুর গতি ক্রমশঃ কমিতে থাকিবে এবং s রাস্তা অতিক্রম করিবার পর B স্থানে বস্তুটি স্থির হইয়া যাইবে। গতিশক্তির সংজ্ঞা অনুযায়ী, বস্তুটি উহার উপর প্রযুক্ত ধ্রুবক বল P-এর বিরুদ্ধে s রাস্তা অতিক্রম করিতে যে পরিমাণ কার্য করিল তাহাই ঐ বস্তুর A স্থানের গতিশক্তির (k) পরিমাপ হইবে। অতএব,



চিত্র 6.3 ঃ গতিশক্তির পরিমাপ

$$k = Ps = mfs \quad \cdots \quad \cdots \quad (6\text{-}5a)$$

এখানে বস্তুর আদি বেগ $= u$, অন্তবেগ $= v = 0$, ত্বরণ $= -f$ এবং অতিক্রান্ত পথ $= s$। এইগুলি, $v^2 = u^2 + 2fs$ সমীকরণে বসাইলে আমরা পাই, $fs = u^2/2$।

স্বতরাং $$k = mfs = \tfrac{1}{2}mu^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots (6\text{-}5b)$$

অতএব, গতিশীল বস্তুর গতিশক্তির পরিমাপ হইবে,

$$k = \tfrac{1}{2}mu^2 = \tfrac{1}{2}\,(\text{বস্তুর ভর}) \times (\text{বস্তুর বেগ})^2 \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots (6\text{-}5c)$$

6-6. শক্তির মূলতত্ত্ব (Principle of energy) ঃ শক্তির মূলতত্ত্ব নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা যাইতে পারে।

যখন কোন বস্তু একটি ধ্রুবক বলের প্রভাবে নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের রাস্তা অতিক্রম করে তখন বল বস্তুটির উপর যে পরিমাণ কাজ করিল তাহা বস্তুটির ঐ রাস্তায় গতিশক্তির পরিবর্তনের সহিত সমান হইবে।

মনে কর m ভরের কোন বস্তুর উপরে P পরিমাণ বল প্রযুক্ত থাকিয়া বস্তুটিকে $AB(=s)$ দৈর্ঘ্যের রাস্তা অতিক্রম করাইল [6.3 নং চিত্র দেখ]। বস্তুর উপর বলের

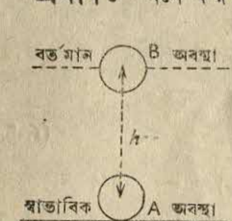
কার্যের পরিমাণ হইবে $W=Ps=mfs$, এখানে f বস্তুর ত্বরণ বুঝাইতেছে। AB রাস্তার A স্থানে যদি বস্তুর বেগ u থাকে এবং B স্থানে যদি বেগ v হয় তাহা হইলে গতিসমীকরণ হইতে আমরা পাই, $v^2=u^2+2fs$; অথবা, $(v^2-u^2)/2=fs$। কাজেই, **বলের দ্বারা কার্যের পরিমাণ হইবে**

$W=mfs=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mu^2=$ **গতিশক্তির পরিবর্তন**।

আবার বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল P দ্বারা কার্যের পরিমাণ হইবে $W=Ps=mfs$ $=$ গতিশক্তির পরিবর্তন। যখন $s=1$, তখন $P=$ গতিশক্তির পরিবর্তন। অতএব, **একক দৈর্ঘ্যের রাস্তা অতিক্রম করিতে বস্তুটির যে গতিশক্তির পরিবর্তন হইবে তাহাই বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ হইবে।**

6-7. অভিকর্ষ-জনিত পতনশীল বস্তু, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে : পৃথিবীর আকর্ষণের জন্য যখন কোন বস্তু উচ্চ স্থান হইতে ভূমির (স্বাভাবিক অবস্থা) উপর বিনা বাধায় পড়ে তখন দেখান যাইতে পারে যে, উহার সর্ব-অবস্থানে স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির যোগফল স্থির থাকে। ইহা দ্বারা শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

প্রমাণ : মনে কর m ভরের কোন বস্তুকে তাহার স্বাভাবিক অবস্থা A হইতে h উচ্চতায় অবস্থিত B স্থানে আনা হইল [6.4 নং চিত্র]। বস্তুটির উপর অভিকর্ষ বল mg নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে। কাজেই বস্তুকে h উচ্চতায় তুলিতে অভিকর্ষ বলের বিরুদ্ধে যে কাজ করা হইল তাহার পরিমাণ হইবে $P=$ বল $\times$ উচ্চতা। অথবা, $P=mgh$। এই কার্য বস্তুর মধ্যে স্থিতিশক্তি রূপে সঞ্চিত থাকিবে। বস্তুটি B স্থানে স্থির থাকে বলিয়া (অর্থাৎ বেগ$=0$) ঐ স্থানে উহার গতিশক্তি শূন্য হইবে। কাজেই B স্থানে বস্তুটির মোটশক্তি$=W=$ স্থিতিশক্তি$+$গতিশক্তি$=P+K=mgh$।



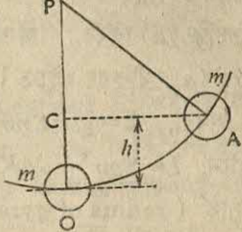
চিত্র 6.4 : শক্তির সংরক্ষণ সূত্র

বস্তুটিকে B স্থান হইতে ছাড়িয়া দিলে উহা স্বাভাবিক অবস্থা A-তে v বেগে আসিবে। এখানে বস্তুটির গতিশক্তি হইবে $K=\frac{1}{2}mv^2$। বস্তুটি স্বাভাবিক অবস্থায় থাকায় $h=0$ হইবে। কাজেই, স্বাভাবিক অবস্থায় বস্তুর স্থিতিশক্তি শূন্য হইবে ; অর্থাৎ $P=mgh=0$। এখানে বস্তুর মোটশক্তি হইবে $W=K+P=\frac{1}{2}mv^2$। কিন্তু গতিসমীকরণ হইতে আমরা জানি $v^2=u^2+2fs$; অথবা, $v^2=2gh$, এখানে পতনশীল বস্তুর ত্বরণ $f=$ অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ $=g$ এবং উহার প্রাথমিক বেগ $u=0$। কাজেই A স্থানে বস্তুটির মোট শক্তি হইবে $W=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}\times 2gh=mgh$।

অতএব, বস্তুর B ও A অবস্থানে মোট শক্তির পরিমাণ একই থাকিতেছে। ইহা দ্বারা শক্তির সংরক্ষণ সূত্র প্রমাণিত হইল।

6·8. একটি দোলায়মান দোলক, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে (An oscillating pendulum obeys the principle of conservation of energy):

দোলকের যখন সরল দোলগতি হয়, তখন উহার পর্যটন পথের, দুই প্রান্তে দোলক-পিণ্ডটি সাময়িকভাবে স্থির থাকে কিন্তু ঐ পথের মধ্যবিন্দুতে উহার বেগ সর্বোচ্চ থাকে। দোলকপিণ্ডের ভর যদি m হয় তাহা হইলে উহার পর্যটন পথের, **A-প্রান্তে,** গতিশক্তি $=K=\frac{1}{2}mv^2=0$ [কারণ A বিন্দুতে পিণ্ডের বেগ $=v=0$]।



চিত্র 6.5 :

স্থিতিশক্তি $=P=mgh$ [কারণ পিণ্ডটি তাহার স্বাভাবিক অবস্থা O হইতে, অভিকর্ষের বিরুদ্ধে $h=OC$, উচ্চতায় উঠিয়াছে]।

অতএব A-স্থানে পিণ্ডের মোট শক্তি $=W=K+P=mgh$ ··· (6-8 a)

দোলকপিণ্ডটি যখন তাহার পর্যটন পথের মধ্যবিন্দু O-তে আসে (O, দোলকপিণ্ডের স্বাভাবিক অবস্থা ধরা হইয়াছে) তখন,

O-স্থানে, স্থিতিশক্তি $=P=mgh=0$, [কারণ O স্থানে $h=0$]

গতিশক্তি $=K=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(2gh)=mgh$ [কারণ এখানে A স্থানে পিণ্ডের প্রাথমিক বেগ $u=0$, এজন্য $v^2=2gh$ হইবে]।

অতএব O-স্থানে দোলকপিণ্ডের মোট শক্তি $=W=K+P=mgh$ ··· (6-8 b)

যেহেতু দোলকপিণ্ডের পর্যটন পথের সব স্থানেই মোট শক্তি একই থাকিতেছে সেইহেতু বলা যায় দোলকপিণ্ডের যে গতি হয় তাহাতে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র পালিত হইতেছে।

6·9. ঘূর্ণমান কণা এবং বস্তুর গতিশক্তি (Kinetic energy of a rotating particle and a body):

(i) **ঘূর্ণমান কণার গতিশক্তি**:—মনে কর m ভরের কোন কণা r ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে সমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে। কণাটির রৈখিক বেগ যদি v হয় এবং কৌণিক বেগ ω হয় তাহা হইলে $v=\omega r$। কণার গতিশক্তি $=k=\frac{1}{2}mv^2$ [(6-5c) সমীকরণ-দেখ] অতএব, $k=\frac{1}{2}m\omega^2r^2$ ··· ··· (6-9 a)

(ii) **ঘূর্ণমান বস্তুর গতিশক্তি** :—M ভরের কোন বস্তুকে অনেকগুলি বস্তুকণার সমষ্টি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। ঐ কণাগুলির ভর যদি m_1, m_2, m_3 প্রভৃতি হয় এবং উহারা বস্তুর ঘূর্ণন অক্ষ হইতে যথাক্রমে r_1, r_2, r_3, প্রভৃতি দূরে থাকে তাহা হইলে উহাদের রৈখিক বেগ যথাক্রমে v_1, v_2, v_3 প্রভৃতি হইলেও কৌণিক বেগ ω একই থাকিবে। কণাগুলির সমষ্টিগত গতিশক্তিই বস্তুটির গতিশক্তি (E) হইবে। অতএব $E=\frac{1}{2}\omega^2(m_1r_1^2+m_2r_2^2+m_3r_3^2+\cdots\cdots)$ [6-9 (a) সমীকরণ হইতে]।

অথবা, $E=\frac{1}{2}\omega^2\Sigma mr^2=\frac{1}{2}\omega^2(MK^2)=\frac{1}{2}I\omega^2$ $\cdots$ $\cdots$ (6-9b)

এখানে, $I=\Sigma mr^2=MK^2$=বস্তুর জাড্যের ভ্রামক এবং K=বস্তুর চক্রগতির ব্যাসার্ধ (radius of gyration)। অতএব বস্তুকে উহার অক্ষরেখার চারিদিকে একক কৌণিক বেগে ঘুরাইলে উহাতে যে গতিশক্তির সৃষ্টি হইবে তাহার দ্বিগুণ পরিমাণই হইবে বস্তুর জাড্যের ভ্রামক।

6-10. সৌরশক্তিই সকল শক্তির উৎস (Sun is the ultimate source of all energies) ঃ পরীক্ষা দ্বারা জানা গিয়াছে যে পৃথিবীর সকল মৌলিক উপাদান সূর্যেও বর্তমান। এজন্য ধারণা হইয়াছে যে, বহুপূর্বে একটি জ্বলন্ত বস্তুপিণ্ড সূর্য হইতে বিচ্ছিন্ন হইয়া উহারই চারিদিকে ঘুরিতে ঘুরিতে ক্রমে শীতল হইল এবং পরে ইহাতে মাটি, জল, বায়ু, নানাপ্রকার বৃক্ষ ও জীবের আবির্ভাব হইল। পৃথিবীর সৃষ্টির প্রথম হইতে সূর্য অবিরামভাবে আলো, তাপ ইত্যাদি রূপে পৃথিবীকে শক্তিদান করিয়া আসিতেছে। এই কারণেই বলা হয় পৃথিবীর সকল শক্তির উৎসই সৌরশক্তি। সূর্যের ভিতরে পারমাণবিক শক্তি অনবরত তাপ ও আলোকশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া সূর্যের শক্তিকে বজায় রাখিতেছে।

উদাহরণ :—(i) রেল এঞ্জিনে, জ্বালানী কার্যে এবং আরও অনেক রকম কাজে আমরা কয়লা হইতে যে তাপশক্তি সংগ্রহ করি তাহার উৎসও কিন্তু সূর্য। গাছ-পালা তাহাদের পুষ্টি ও বৃদ্ধির জন্য সূর্যের আলো ও তাপের সাহায্যে বায়ু হইতে তাহাদের খাদ্য সংগ্রহ করে। এইভাবে গাছপালা সূর্যের তাপ ও আলোকশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করিয়া তাহাদের দেহে শক্তি সঞ্চয় করিয়া রাখে। এই গাছপালা যখন বহু বৎসর ধরিয়া মাটির নীচে থাকে তখন মাটির প্রচণ্ড চাপে এবং তাপে উহারা কয়লায় পরিণত হয়। কাজেই দেখা যাইতেছে যে, কয়লার মধ্যে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তি প্রকৃতপক্ষে সূর্য হইতে আহৃত শক্তি। কয়লা পুড়াইয়া আমরা উহার মধ্যে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিকে পুনরায় তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত করি।

(ii) নদীর জলের গতিশক্তি হইতে আমরা বৈদ্যুতিক শক্তি, যান্ত্রিক শক্তি প্রভৃতি

পাই। জলের এই গতিশক্তির উৎসও সূর্য। সূর্যের তাপশক্তির সাহায্যে সমুদ্রের জল বাষ্পীভূত হইয়া মেঘের সৃষ্টি করে। এই মেঘ পাহাড়-পর্বতের শীর্ষের ঠাণ্ডায় ঘনীভূত হইয়া জলে পরিণত হয় এবং বৃষ্টির সৃষ্টি করে। পাহাড়ের শীর্ষে অবস্থিত এই বৃষ্টির জলের স্থিতিশক্তি থাকে। ঐ জল যখন নীচে প্রবাহিত হয় তখন উহার স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এই রূপান্তরিত গতিশক্তিকে অন্যান্য শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়, যেমন বৈদ্যুতিক শক্তি, যান্ত্রিক শক্তি প্রভৃতি।

বিষয়-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions] (অধ্যায় 6)

1. কার্যের সংজ্ঞা লিখ। কখন বলের দ্বারা কার্য হয় এবং কখন বলের বিরুদ্ধে কার্য হয়? 'বস্তুর উপর বল প্রযুক্ত থাকা সত্ত্বেও বলের দ্বারা কোনরূপ কার্য হয় না'—এই উক্তির যৌক্তিকতা বুঝাইয়া দাও। [Art. 6-1]

2. কোন ব্যক্তি বা যন্ত্রের ক্ষমতা বলিতে কি বুঝ? বিভিন্ন পদ্ধতিতে কার্য ও ক্ষমতার বিভিন্ন এককের নাম ও সংজ্ঞা লিখ। [Arts. 6-2 ও 6-3]

3. শক্তি কাহাকে বলে? উহার সংজ্ঞা লিখ। সি. জি. এস্ পদ্ধতিতে উহার একক কি হইবে? জুল কাহাকে বলে? শক্তির বিভিন্ন রূপ ও রূপান্তর সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। পারমাণবিক শক্তি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। [Art. 6-4]

4. ওয়াট, কিলোওয়াট ও অশ্বশক্তির সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ স্থির কর।

5. স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। প্রমাণ কর যে পতনশীল কোন বস্তুর অভিকর্ষ-জনিত স্থিতিশক্তি mgh এবং কোন গ্যাসের সংকোচন-জনিত স্থিতিশক্তি pv। [Art. 6-5]

6. কোন বস্তুর রৈখিক সরণের জন্য যে গতিশক্তির অধিকারী হয় তাহার পরিমাপ কিভাবে পাওয়া যায়? প্রমাণ কর যে যখন m ভরের কোন বস্তুকণা v বেগে সরলরেখা ধরিয়া চলে তখন উহার গতিশক্তি হইবে $k=\frac{1}{2}mv^2$। [Art. 6-5]

7. শক্তির মূল তত্ত্বটি বিবৃত কর। প্রমাণ কর যে কোন বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল যে কার্য করিবে তাহা বস্তুর গতিশক্তির পরিবর্তনের সহিত সমান হইবে এবং একক দৈর্ঘ্যের রাস্তা অতিক্রম করিতে বস্তুটির যে পরিমাণ গতিশক্তির পরিবর্তন হইবে তাহা বস্তুর উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণের সমান। [Art. 6-6]

8. শক্তির সংরক্ষণ সূত্রটির বিবরণ দাও এবং প্রমাণ কর যে, (i) অভিকর্ষ-জনিত পতনশীল বস্তু ও (ii) দোলায়মান দোলক, শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে। [Arts. 6-7 ও 6-8]

9. একটি ঘূর্ণমান কণা বা বস্তুর গতিশক্তির পরিমাণ নির্ণয় কর। [Art. 6-9]

10. 'সৌরশক্তিই সকল শক্তির উৎস'—উদাহরণ দ্বারা এই উক্তির যৌক্তিকতা বুঝাইয়া দাও। [Art. 6-10]

বাস্তব-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Objective type Questions] (অধ্যায় 6)

A. Multiple Choice Type : (1) অশ্বশক্তি কিসের একক? সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক; এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কার্যের একক; এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে ক্ষমতার একক। (2) স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তির মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি? দুইটিই শক্তির প্রকার ভেদ মাত্র, কাজেই উহাদের

মধ্যে কোনও পার্থক্য নাই ; কোন বস্তুর স্বাভাবিক অবস্থান হইতে অন্য কোনও অবস্থানে স্থিতির জন্য যে শক্তি তাহাকেই বস্তুর স্থিতিশক্তি বলে কিন্তু বস্তুটির বেগ থাকার জন্য উহাতে যে শক্তি থাকে তাহাই উহার গতিশক্তি। (3) বল কখন কাজ করে? বস্তুর উপর প্রযুক্ত বল যখন বস্তুকে স্থানান্তরিত করে তখনই বল কাজ করে, বস্তুর সরণ হউক বা না হউক উহার উপর বল প্রযুক্ত থাকিলেই বল কার্য করিবে।

B. Recall Type : (1) যদি কোন লোক একটি বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উল্লম্ব উপরের দিকে তুলিতে এক সেকেণ্ডে 550 —— কার্য করে তাহা হইলে তাহার —— হইবে এক ——। (2) শক্তির কোন —— নাই কিংবা উহা কোন ——অধিকার করিতে পারে না কিন্তু বাস্তব —— সাহায্যে উহা কার্য করিতে পারে যাহার পরিমাণই শক্তির পরিমাপ হইবে। (3) কোন বস্তুকে তাহার স্বাভাবিক অবস্থা হইতে —— অবস্থায় আনিতে যে —— করা হয় তাহাই বস্তুটির বর্তমান অবস্থায় —— পরিমাপ হইবে।

C. True or false Type : (1) পরিমাপের উভয়বিধ পদ্ধতিতেই গতিশক্তির একক পাউণ্ডাল। (2) ক্ষমতার ব্যবহারিক এককের পরিমাণ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বড় এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ছোট। (3) কোন লোক 55 পাউণ্ড বস্তুকে খাড়া 10 ফুট তুলিলে তাহার কার্যের পরিমাণ হইবে এক অশ্বশক্তি।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 6]

1. একটি 5 অশ্বক্ষমতার মোটর দ্বারা কূয়া হইতে 30 ফুট উচ্চে জল তোলা হইতেছে। পাম্পের কার্যকরী ক্ষমতা যদি 85% হয় তাহা হইলে প্রতি মিনিটে কত গ্যালন জল উপরে তোলা যাইবে?

উঃ। মোটর এক মিনিটে যে কাজ করিতে পারে তাহার পরিমাণ হইবে $5 \times 550 \times 60$ ফুট-পাউণ্ড। ইহার যে অংশ জল তুলিতে কার্যকরী হইবে তাহার পরিমাণ হইবে $\frac{85}{100} \times 5 \times 550 \times 60$ ফুট-পাউণ্ড। প্রতি মিনিটে x গ্যালন জল তুলিতে যে কার্য করিতে হইবে তাহার পরিমাণ হইবে $10x \times 30$ ফুট-পাউণ্ড। যেহেতু এই দুই কাজ সমান $10x \times 30 = \frac{85}{100} \times 5 \times 550 \times 60$; অথবা, $x = 467{\cdot}5$ গ্যালন প্রতি মিনিটে।

2. 100 ফুট উচ্চের জলপ্রপাত হইতে জল মাটিতে আসিয়া একটি অনুভূমিক রাস্তায় প্রবাহিত হইতেছে। যদি পতনকালে জলের শক্তি 25% নষ্ট হয় তাহা হইলে মাটিতে প্রবাহিত জলের বেগ কত হইবে?

উঃ। জলের স্থিতিশক্তির $(=mgh)$ 75% কার্যকরী হইতেছে। অতএব, আমরা লিখিতে পারি $\frac{75}{100} \times mgh = \frac{1}{2}mv^2$; অথবা, $v^2 = 1{\cdot}5\ gh$; অথবা, $v^2 = 1{\cdot}5 \times 32 \times 100$; অথবা, $v = 69{\cdot}28$ ফুট প্রতি সেকেণ্ডে।

3. এক মাইল উচ্চতার মেঘ হইতে যে বৃষ্টিপাত হইল তাহা এক বর্গমাইল স্থানে জমা করিলে তাহার উচ্চতা $\frac{1}{2}$ ইঞ্চি হইবে। ঐ জলকে মেঘের উচ্চতায় তুলিতে কত কাজ ব্যয়িত হইয়াছিল?

উঃ। জমা জলের আয়তন $= (5280)^2 \times \frac{1}{2 \times 12}$ ঘন-ফুট [কারণ এক মাইল=

5280 ফুট]। কাজেই জমা জলের ভর $=\frac{(5280)^2 \times 62{\cdot}5}{2\times 12}$ পাউণ্ড। এই জলকে এক মাইল ঊর্ধ্বের মেঘের স্থানে লইয়া যাইতে কার্যের পরিমাণ হইবে,

$$\frac{(5280)^2 \times 62{\cdot}5}{2\times 12} \times 5280 = 38{\cdot}32 \times 10^{10} \text{ ফুট-পাউণ্ড।}$$

4. একটি এক টন ভরের মোটর গাড়ী, 3 ফুট/সেকেণ্ড^2 সমত্বরণে একটি আনত তলে উঠিতেছে, যে তল 112 ফুটে 1 ফুট আনত করা আছে। গাড়ীকে ঘর্ষণজনিত যে বাধা অতিক্রম করিতে হইবে, তাহা যদি উহার প্রতি টন ভরের জন্য 20 পাউণ্ড-ভার হয় তাহা হইলে এঞ্জিনের কত অশ্ব-ক্ষমতা হইবে যখন গাড়ীর বেগ ঘণ্টায় 30 মাইল?

উঃ। যদি আনত তলটি অনুভূমিক ভূমির সহিত θ কোন করিয়া থাকে তাহা হইলে $\sin\theta = 1/112$ হইবে। গাড়ির গতির বিরুদ্ধে দুইটি বল ক্রিয়া করিতেছে। একটি অভিকর্ষজনিত বিরুদ্ধ বল যাহার পরিমাণ $mg \sin\theta$ পাউণ্ডাল এবং অপরটি ঘর্ষণজনিত বিরুদ্ধ বল যাহার পরিমাণ $20 \times g$ পাউণ্ডাল। এখানে m গাড়ীর ভর এবং g অভিকর্ষজাত ত্বরণ বুঝাইতেছে। অতএব গাড়ীর উপর মোট বিরুদ্ধ বল $=(m\sin\theta + 20)\,g$ পাউণ্ডাল। যদি এঞ্জিন গাড়ীর উপর F পাউণ্ডাল বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে গাড়ীর উপর কার্যকরী বলের পরিমাণ হইবে $F' = F - (m\sin\theta + 20)\,g = mf$। এখানে $f =$ গাড়ীর ত্বরণ $=3$ফুট/সেকেণ্ড^2। কাজেই আমরা লিখিতে পারি,

$$F = \left(m\sin\theta + 20 + \frac{mf}{g}\right)g \text{ পাউণ্ডাল} = \left(m\sin\theta + 20 + \frac{mf}{g}\right) \text{ পাউণ্ড-ভার।}$$

অথবা, $F = \left(2240 \times \frac{1}{112} + 20 + \frac{2240 \times 3}{32}\right) = 250$ ফুট-পাউণ্ড। যখন এঞ্জিনের বেগ ঘণ্টায় 30 মাইল, অর্থাৎ সেকেণ্ডে 44 ফুট তখন এক সেকেণ্ডে এঞ্জিন যে কাজ করিবে তাহার পরিমাণ $= F \times 44$। অতএব **এঞ্জিনের অশ্বশক্তি** $= \frac{250 \times 44}{550} = 20$।

5. কোন স্টেশনে দণ্ডায়মান ট্রেন সমত্বরণে যাত্রা করিয়া দুই মিনিটে উহা তাহার উচ্চতম বেগ (যাহা ঘণ্টায় 60 মাইল) অর্জন করিল এবং পরে এই উচ্চতম বেগেই চলিতে থাকিল। সমত্বরণে চলার সময় ট্রেনটি কত রাস্তা অতিক্রম করিয়াছিল?

উঃ। ট্রেনটি 2 মিনিটে অর্থাৎ 120 সেকেণ্ডে ঘণ্টায় 60 মাইল, অর্থাৎ সেকেণ্ডে 88 ফুট বেগ অর্জন করিল। অতএব, $v = u + ft$ সমীকরণ হইতে আমরা পাই $88 = 0 + f \times 120$; অথবা, $f = \frac{11}{15}$ ফুট/সেকেণ্ড^2। কিন্তু $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়, $s = 0 + \frac{1}{2} \times \frac{11}{15} \times 120^2 = 5280$ ফুট $= 1$ মাইল।

6. একটি 100 পাউণ্ড ভরের বালক 9 ইঞ্চি উচ্চতা-বিশিষ্ট 20-টি সোপান 5 সেকেণ্ডে উঠিল। বালকটির অশ্ব-ক্ষমতা কত?

উঃ। একটি সোপানের উচ্চতা 9 ইঞ্চি $= \frac{3}{4}$ ফুট। বালকটি 20টি সোপানে মোট $20 \times \frac{3}{4} = 15$ ফুট উচ্চে উঠিল। বালকটির এক সেকেণ্ডে কার্যের পরিমাণ হইবে। $\frac{100 \times 15}{5} = 300$ ফুট পাউণ্ড। কাজেই উহার অশ্ব-ক্ষমতা হইবে $\frac{300}{550} = \frac{6}{11}$।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 6]

1. একটি 10 অশ্ব-ক্ষমতার এঞ্জিন দ্বারা 300 ফুট উচ্চে একটি জলাধারে জল তোলা হইতেছে। যদি এঞ্জিনের কার্যকরী ক্ষমতা 80% হয় তাহা হইলে প্রতি মিনিটে কত গ্যালন জল জলাধারে উঠিবে?

[**Ans.** 88 গ্যালন / মিনিটে]

2. একটি 1000 গ্যালনের জলাধার 60 ফুট উচ্চে অবস্থিত। একটি $\frac{1}{2}$ অশ্ব-ক্ষমতার মোটরযুক্ত পাম্প ঐ জলাধারকে কত সময়ে ভর্তি করিবে? [**Ans.** 36 মি. 22 সে.]

3. একটি দেওয়ালের সঙ্গে 20 ফুট দৈর্ঘ্যের একটি সিঁড়ি 30° কোণে লাগানো আছে। 100 পাউণ্ড ভারের কোন জিনিসকে ঐ সিঁড়ির উপরে লইয়া যাইতে কত কাজ করিতে হইবে?

[**Ans.** 1732 ফুট-পাউণ্ড]

4. এক কিলোগ্রাম ভরের একটি বস্তু কত উঁচু হইতে পড়িলে উহার গতিশক্তি, ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে ধাবিত একটি 2 টন মোটর গাড়ীর গতিশক্তির সমান হইবে? [**Ans.** 61490 ফুট]

5. 20 ফুটে এক ফুট আনত একটি পাহাড়ের উপরের দিকে একজন লোক ঘণ্টায় 4 মাইল বেগে সাইকেল চালাইতেছে। যদি সাইকেল এবং উহার চালকের মোট ভর 187·5 পাউণ্ড হয় তাহা হইলে চালকের অশ্ব-ক্ষমতা কত হইবে? [**Ans.** $\frac{1}{10}$ অশ্ব-ক্ষমতা]

6. 250 টন ভরের একটি ট্রেন ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে চলিলে উহার গতিশক্তি কত হইবে? ট্রেনটির বেগ ঘণ্টায় 65 মাইল করিতে হইলে উহার গতিশক্তি কি পরিমাণ বৃদ্ধি করিতে হইবে?

[**Ans.** গতিশক্তি $= 6·776 \times 10^7$ ফুট-পাউণ্ড ; অতিরিক্ত গতিশক্তি $= 1·176 \times 10^7$ ফুট-পাউণ্ড]

7. একটি 100 টন ভরের ট্রেন, অনুভূমিক রেল-লাইনের উপরে ঘণ্টায় 30 মাইল বেগে যাইতেছে। উহার উপর যে বাধা ক্রিয়াশীল আছে তাহা যদি টন প্রতি 15 পাউণ্ড ভারের সমান হয় তাহা হইলে ট্রেনের এঞ্জিনের অশ্ব-ক্ষমতা কত হইবে? [**Ans.** 120 অশ্ব-ক্ষমতা]

8. অভিকর্ষের জন্য 500 গ্রাম ভরের একটি বস্তু উপর হইতে নীচে পড়িতেছে। বস্তুটির উপর অভিকর্ষ-বল কত হইবে? বস্তুটিকে ছাড়িয়া দিবার 5 সেকেণ্ড পর উহার ভরবেগ এবং গতিশক্তি কত হইবে? [**Ans.** 49×10^4 ডাইন ; 245×10^4 গ্রাম-সেন্টিমিটার / সেকেণ্ড ; 600·25 জুল]

9. 2 কিলোগ্রাম ভরের কোন বস্তুর উপর এক মেগাডাইন বল ক্রিয়া করিতেছে। এক মিনিটে বল কি পরিমাণ কার্য করিবে? [**Ans.** 9×10^4 জুল]

10. এক কিলোগ্রাম ভরের কোন বস্তুর বেগ 5 সেকেণ্ডে, 5 সে. মি. / সেকেণ্ড হইতে বৃদ্ধি পাইয়া 20 সে. মি. / সেকেণ্ড হইল। বস্তুটির উপর বলের পরিমাণ এবং ঐ বলের দ্বারা কার্যের পরিমাণ নির্ণয় কর। [**Ans.** কার্যের পরিমাণ $=$ 18500 আর্গ ; বলের পরিমাণ $=$ 3000 ডাইন]

11. এক জুল গতিশক্তি সম্পন্ন একটি বস্তুর গতির বিপরীত দিকে এক মেগাডাইন বল প্রয়োগ করা হইল। বস্তুটি থামিয়া যাইবার পূর্বে কত রাস্তা অতিক্রম করিল? [**Ans.** 10 সেন্টিমিটার]

12. 2 টন ভরের একটি লিফ্‌টের মধ্যে 140 পাউণ্ড ভরের একটি লোক বসিয়া আছে। 2 মিনিটে যদি লিফ্‌টটি 75 ফুট উচ্চতায় চারতলায় উঠিয়া যায় তাহা হইলে লিফ্‌ট কত কাজ করিল এবং উহার অশ্ব-ক্ষমতা কত হইবে? [**Ans.** কার্য $=3{\cdot}465\times10^5$ ফুট-পাউণ্ড ; অশ্ব-ক্ষমতা $=5{\cdot}25$]

13. দুই টন ভরের একটি গাড়ী সমবেগে একটি আনত তলের উপরের দিকে উঠিতেছে। গাড়ীর বেগ যদি ঘণ্টায় 6 মাইল হয় এবং আনত-তলটি অনুভূমিক তলের সহিত 30° কোণ করিয়া থাকে তাহা হইলে গাড়ীর এঞ্জিন (i) কত বল প্রয়োগ করিতেছে, যখন গাড়ীর টন প্রতি ঘর্ষণজনিত বিরুদ্ধ বল 20 পাউণ্ড-ভার? (ii) গাড়ীটি 10 মিনিটে কত কার্য করিবে এবং (iii) এঞ্জিনের অশ্ব-ক্ষমতা কত হইবে?

[**Ans** (i) 2280 পাউণ্ড-ভার ; (ii) $1{\cdot}2\times10^7$ ফুট-পাউণ্ড ; (iii) $36{\cdot}47$ অশ্ব-শক্তি]

সংকেত : [গাড়ীর এঞ্জিন যদি F পাউণ্ড-ভার বল প্রয়োগ করে তাহা হইলে উহা ঘর্ষণজনিত এবং অভিকর্ষজনিত বিরুদ্ধ বলকে নিষ্ক্রিয় করিতেছে। কাজেই এঞ্জিন দ্বারা প্রযুক্ত বল $=(m \sin\theta+40)$ পাউণ্ড-ভার $=(2\times2240\times\frac{1}{2}+40)=2280$ পাউণ্ড-ভার। গাড়ীর দ্বারা 10 মিনিটে অতিক্রান্ত পথ $=$ বেগ $\times$ সময় $=8{\cdot}8\times10\times60=5280$ ফুট। অতএব 10 মিনিটে কার্যের পরিমাণ $=$ বল $\times$ সরণ $=2280\times5280=1{\cdot}204\times10^7$ ফুট-পাউণ্ড। গাড়ীর এঞ্জিনের অশ্ব-ক্ষমতা $=$ এক সেকেণ্ডে কার্যের পরিমাণ / 550।

অথবা, অশ্ব-ক্ষমতা $=\dfrac{2280\times5280}{10\times60\times550}=36{\cdot}47$।]

14. এক কুইণ্টাল ভরের একটি চাকা কোন অক্ষরেখার চারিদিকে প্রতি মিনিটে 100 বার ঘুরিতেছে। চাকার সমস্ত ভর যদি অক্ষরেখা হইতে এক মিটার দূরে কেন্দ্রিভূত আছে বলিয়া ধরিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে উহার গতিশক্তি কত হইবে?

সংকেত : [এখানে $I=MK^2=(100\times10^3)\times100^2=10^9$ গ্রাম-(সে. মি.)^2 ;

$\omega=\dfrac{2\pi\times100}{60}=\dfrac{10}{3}\pi$ রেডিয়ান প্রতি সেকেণ্ডে। অতএব $E=\frac{1}{2}\times10^9\times\dfrac{10^2}{9}\pi^2$

$\dfrac{\pi^2}{18}10^{11}=5{\cdot}5\times10^{10}$ ডাইন।]

অধ্যায় 7

মহাকর্ষ, অভিকর্ষ ও পেণ্ডুলাম
[Gravitation, Gravity and Pendulum]

7-1. মহাকর্ষ ও মহাকর্ষ-সূত্র (Gravitation and Law of Gravitation) ঃ

মহাকর্ষ ঃ উপরের কোন বস্তুকে মুক্ত করিলে উহা সর্বদাই পৃথিবীর দিকে আসে। এই ঘটনা হইতে নিউটন ধারণা করিলেন যে, বস্তুটিকে পৃথিবী আকর্ষণ করে বলিয়াই উহা পৃথিবীর দিকে আসে। আবার সূর্যের চারিদিকে গ্রহগুলির ঘূর্ণন সংক্রান্ত কেপলারের সূত্রগুলি হইতেও নিউটন অনুধাবন করিলেন যে পৃথিবী এবং তাহার নিকটস্থ কোন বস্তুর মধ্যেই যে আকর্ষণ আছে তাহাই নহে, সূর্য এবং তাহার গ্রহগুলিও পরস্পর পরস্পরকে আকর্ষণ করিতেছে। এই আকর্ষণ-বল বস্তু দুইটির ভরের উপর এবং উহাদের কেন্দ্রের মধ্যস্থ দূরত্বের উপর নির্ভর করে কিন্তু তাহাদের আকার বা প্রকৃতির উপর নির্ভর করে না। **এই বিশ্বের যে কোন দুইটি বস্তুর** (বস্তু দুইটি পার্থিব কিংবা জ্যোতিষ্ক, যাহাই হউক না কেন) **মধ্যের আকর্ষণ বলকে মহাকর্ষ বলে** যাহা বস্তু দুইটির ভরকেন্দ্রের সংযোজক সরলরেখা বরাবর ক্রিয়া করে।

মহাকর্ষ সূত্র ঃ বিশ্বের যে-কোন দুইটি বস্তু সর্বদা পরস্পরকে উহাদের ভর-কেন্দ্রের সংযোজক সরলরেখা বরাবর আকর্ষণ করে এবং এই আকর্ষণ বলের পরিমাণ বস্তু দুইটির ভরের গুণফলের সমানুপাতিক এবং উহাদের ভরকেন্দ্রের মধ্যের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

যদি বস্তু দুইটির ভর m_1 ও m_2 হয় এবং উহাদের ভারকেন্দ্রের মধ্যের দূরত্ব r হয় তাহা হইলে মহাকর্ষ সূত্র অনুযায়ী বস্তু দুইটির মধ্যের আকর্ষণ বল হইবে $F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$। এখানে G একটি ধ্রুবক যাহাকে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক (gravitational constant) বলে। যখন $m_1 = m_2 = 1$ এবং $r = 1$, তখন $F = G$। অতএব, **দুইটি একক ভরের বস্তুকে একক দূরত্বে রাখিলে উহারা পরস্পরের প্রতি যে আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে তাহাকে মহাকর্ষীয় ধ্রুবক বলে।** সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে G-এর মান $= 6{\cdot}67 \times 10^{-8}$ ডাইন-(সে. মি. $)^2$/(গ্রাম$)^2$।

G-এর একক : $G=\frac{Fr^2}{m^2}$। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে, বল F-এর একক ডাইন, দূরত্ব r-এর একক সে. মি. এবং ভর m-এর একক গ্রাম। কাজেই G-এর একক হইবে 'ডাইন-(সে মি.)^2/(গ্রাম)^2'।

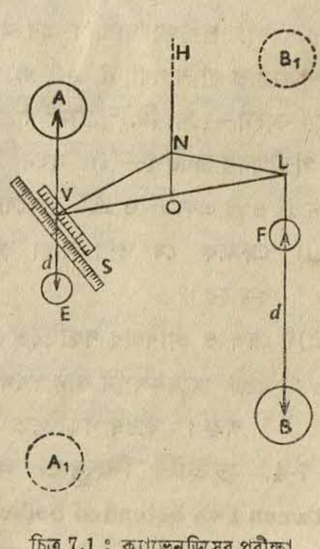
7-2. মহাকর্ষ-সূত্রের সার্বিক প্রযোজ্যতা (Universal applicability of the law of gravitation) : মহাকর্ষীয় সূত্রের সত্যতা সব রকম দূরত্বের ক্ষেত্রেই প্রমাণিত হইয়াছে কিন্তু তাহা সত্ত্বেও মহাকর্ষের সূত্রের বিবৃতিতে নিম্নলিখিত ত্রুটিগুলি লক্ষিত হয়।

(i) আইনস্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব অনুযায়ী, প্রচণ্ড বেগে চলনশীল কোন বস্তুর ভর উহার স্থির অবস্থার ভর অপেক্ষা বেশী হয়। মহাকর্ষ-সূত্রে যে ভরের উল্লেখ আছে তাহা বস্তুর কোন অবস্থার জন্য সে সম্বন্ধে কিছুই বলা নাই।

(ii) যে স্থানাঙ্ক পদ্ধতিতে (Co-ordinate system) স্থান কাল প্রকাশ করা হয় তাহাতে দুইটি বস্তুর মধ্যের দূরত্ব পরিবর্তনীয় রাশি। কিন্তু মহাকর্ষ সূত্রে দূরত্বের এইরূপ পরিবর্তনের কোন উল্লেখ নাই।

(iii) পারমাণবিক দূরত্বে মহাকর্ষ সূত্রের প্রযোজ্যতা প্রশ্নাতীত নয়। এসব সত্ত্বেও নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র, প্রকৃত মহাকর্ষ সূত্রের খুব কাছাকাছি বলিয়া পরিগণিত করা যাইতে পারে।

7-3. ক্যাভেনডিসের যন্ত্র দ্বারা G-এর মান নির্ণয় করিবার পদ্ধতির সংক্ষিপ্ত বিবরণ (Short description of the method of finding G by Cavendish's apparatus) : এই যন্ত্রে l দৈর্ঘ্যের একটি ফ্রেম (VNL) আছে যাহাকে একটি লম্বা সরু তার (NH) দ্বারা ঝুলাইয়া রাখা হয় [7.1 নং চিত্র]। m ভরের এবং সমব্যাসের (প্রায় 2″ ব্যাসের) দুইটি ছোট সীসার বল E ও F-কে যথাক্রমে ফ্রেমের V ও L প্রান্ত হইতে ঝুলাইয়া রাখা হয় যাহাতে উহারা একই অনুভূমিক তলে থাকিতে পারে। E ও F বল দুইটির ঠিক বিপরীত দিকে, M ভরের দুইটি বড় ব্যাসের (প্রায় 12″ ব্যাসের) বল



চিত্র 7.1 : ক্যাভেনডিসের পরীক্ষা

A ও B-কে যথাক্রমে E ও F বল হইতে d দূরে এবং একই অনুভূমিক তলে স্থাপন করা হয়। A ও E বলদ্বয়ের মধ্যের আকর্ষণবল $f=\left(G\frac{Mm}{d^2}\right)$, B ও F বলদ্বয়ের মধ্যের আকর্ষণ-বলের সমান, সমান্তরাল এবং বিপরীতমুখী। কাজেই এই দুই বল ফ্রেমের উপর একটি দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিবে যাহার ভ্রামক হইবে $fl=G\frac{Mm}{d^2}l$। এই দ্বন্দ্বের ফলে ফ্রেমটি ঘুরিয়া যাইবে এবং V প্রান্তের সংলগ্ন ভার্নিয়ার স্কেলের (S) উপর ঘুরিয়া R_1 পাঠ দেখাইবে। এইবার A ও B বলদ্বয়কে A_1 ও B_1 স্থানে স্থাপন করা হইল যাহাতে এবারও $A_1E=B_1F=d$ হইতে পারে এবং চারটি বলই পূর্বের অনুভূমিক তলে থাকিতে পারে। এবার ফ্রেমের উপর যে দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হইবে তাহা পূর্বের দ্বন্দ্বের সমান কিন্তু বিপরীতমুখী। এক্ষণে ভার্নিয়ার পূর্বের বিপরীত দিকে ঘুরিয়া যদি স্কেলের উপর R_2 পাঠ দেখায় তাহা হইলে fl দ্বন্দ্বের জন্য ফ্রেমের ঘূর্ণন কোণ হইবে $\theta=(R_1 \sim R_2)/2$। যদি বিলম্বিত তারকে এক রেডিয়ান ঘুরাইতে τ পরিমাণ দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিতে হয় তাহা হইলে উহার θ রেডিয়ান ঘূর্ণনের জন্য যে দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হইবে তাহার পরিমাণ $=\tau\theta$। ফ্রেমটি যখন দুই বিপরীত দণ্ডের ক্রিয়ায় (তারের মোচড়ের জন্য দ্বন্দ্ব $\tau\theta$ এবং বলদ্বয়ের মধ্যের আকর্ষণ বলের জন্য সমান এবং বিপরীতমুখী দ্বন্দ্ব fl) সাম্য অবস্থায় থাকিবে তখন

$$G\frac{Mm}{d^2}\times l=\tau\theta\text{; অথবা, } G=\frac{\tau d^2}{Mml}\theta \quad \cdots \quad (7\text{-}3a)$$

অপর একটি পরীক্ষা দ্বারা τ-এর মান নির্ণয় করিয়া G-এর মান নির্ণয় করা যাইবে, কারণ অন্যান্য রাশি যথা, d, M, m, l এবং θ জানা আছে। G-এর মান$=6{\cdot}67\times 10^{-8}$ ডাইন$-$(সে. মি.)^2/গ্রাম^2।

পরীক্ষার ত্রুটি ঃ—(*i*) যখন E ও A এবং B ও F-এর মধ্যে আকর্ষণ হয় তখন E ও B এবং F ও A-এর মধ্যে সামান্য আকর্ষণ থাকায় θ-এর মান কম হইবে।

(*ii*) ফ্রেমকে যে তার দ্বারা ঝুলানো হয় তাহা মোটা থাকায় θ-এর মান কম হয়।

(*iii*) স্কেল ও ভার্নিয়ার পদ্ধতিতে ফ্রেমের খুব অল্প ঘূর্ণন-কোণ মাপা সঠিক হয় না।

(*iv*) যন্ত্রটি অনেকখানি স্থান দখল করে যাহার মধ্যে একই উষ্ণতা বজায় রাখা শক্ত। বয়েজ পদ্ধতিতে এই সব ত্রুটিগুলি সংশোধিত করা হয়।

7-4. দুইটি বিস্তৃত বস্তুর মধ্যে আকর্ষণ (Attraction between two extended bodies) ঃ বস্তু দুইটি বিন্দুবৎ না হইয়া যদি বিস্তৃত হয় তাহা হইলে প্রত্যেক বস্তুকে অনেকগুলির বস্তুকণার সমষ্টি বলিয়া গণ্য করা যাইতে পারে। মহাকর্ষ সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা দুই বস্তুর প্রত্যেক জোড়ার বস্তুকণার মধ্যের

আকর্ষণ-বল নির্ণয় করিয়া উহাদের লব্ধি আকর্ষণ স্থির করিলে বিস্তৃত বস্তু দুইটির মধ্যের আকর্ষণ বল নির্ণীত হইবে। দেখা গিয়াছে যে, এইভাবে বস্তু দুইটির মধ্যের আকর্ষণ-বল যে পরিমাণে পাওয়া যায়, তাহা বস্তু দুইটির সমস্ত ভর উহাদের ভরকেন্দ্রে ঘনীভূত অবস্থায় আছে কল্পনা করিয়াও পাওয়া যায়। এজন্য যখনই দুইটি বিস্তৃত বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ-বল নির্ণয় করার প্রয়োজন হয় তখন মনে করা হয় যেন বস্তু দুইটির সমস্ত ভর উহাদের ভরকেন্দ্রে ঘনীভূত হইয়া আছে।

7-5. পৃথিবীর আকর্ষণ (Gravitational attraction of earth) ঃ পৃথিবী তাহার উপরের কিংবা নিকটের কোন বস্তুকে সর্বদাই তাহার কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করে যাহাকে **অভিকর্ষ** বলে।

g-এর অর্থ ঃ—(*i*) কোন বস্তুকে উপর হইতে ছাড়িয়া দিলে উহার উপর পৃথিবী আকর্ষণ-বল প্রয়োগ করায় উহা ত্বরান্বিত বেগে নীচে নামিতে থাকে এবং বস্তুর এই ত্বরণকে **অভিকর্ষজাত-ত্বরণ** বলে যাহাকে g অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

(*ii*) আবার বস্তুর ভর যদি m হয় তাহা হইলে পৃথিবী দ্বারা উহার উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ হইবে $w=mg$, যাহাকে বস্তুর **ওজন** বলে। যদি বস্তুর ভর $m=1$ হয় তাহা হইলে $w=g$ হইবে। অতএব পৃথিবী একক ভরের বস্তুকে যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে সেই আকর্ষণ-বলকেও **অভিকর্ষজাত ত্বরণ** (g) বলা হয়। সি. জি. এস্. এবং এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে g-এর মান যথাক্রমে 980 সে. মি./সেকেণ্ড^2 এবং 32 ফুট/সেকেণ্ড^2।

পৃথিবী ও তাহার নিকটস্থ কোন বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ পারস্পরিক ঃ— পৃথিবী যখন উহার নিকটস্থ কোন বস্তুকে F বল দ্বারা আকর্ষণ করে তখন বস্তুটিও পৃথিবীকে সমপরিমাণ (F) বল দ্বারা উহার দিকে আকর্ষণ করে। কার্যক্ষেত্রে বস্তুটিই পৃথিবীর দিকে যায়, কিন্তু পৃথিবী বস্তুর দিকে আসে না। ইহার ব্যাখ্যা নিম্নলিখিত ভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

মনে কর পৃথিবীর ভর M এবং বস্তুটির ভর m (এখানে $M>>m$)। পৃথিবী বস্তুকে F বল দ্বারা আকর্ষণ করার জন্য যদি বস্তুর ত্বরণ g হয় তাহা হইলে $F=mg$ (নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুযায়ী)। এখানে g-কে অভিকর্ষজাত ত্বরণ বলে। আবার বস্তুটি পৃথিবীকে যে বল ($=F$) দ্বারা তাহার দিকে টানিতেছে তাহার জন্য যদি পৃথিবীর ত্বরণ f হয় তাহা হইলে $F=Mf$। সুতরাং, $F=mg=Mf$; অথবা, $f=\left(\frac{m}{M}\right)g$। কিন্তু ($m/M$) প্রায় শূন্য হইবে (কারণ $M>>m$) কাজেই f-ও প্রায় শূন্য হইবে। অতএব পৃথিবীর সরণ s ($s=\frac{1}{2}ft^2$) শূন্য হইবে।

7·6. অভিকর্ষ জনিত পতনশীল বস্তুর সূত্রাবলী

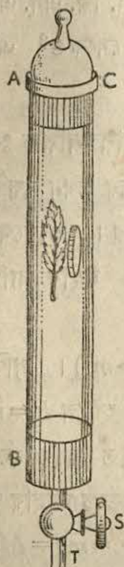
(**Laws of falling bodies**) ঃ যখন কোন বস্তু, স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় কেবলমাত্র অভিকর্ষের জন্য নীচে পড়িতে থাকে তখন বস্তুটি সমত্বরণে পড়িতে থাকে যদি বস্তুটির প্রাথমিক অবস্থান ভূপৃষ্ঠ হইতে খুব উচ্চে না হয়। এইরূপ পতন যে তিনটি সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাহাদের বিবরণ ও ব্যাখ্যা নীচে দেওয়া হইল।

প্রথম সূত্র ঃ—স্থির অবস্থা হইতে অবতরণের সময় সকল বস্তুই বায়ুশূন্য স্থানে সমান দ্রুততায় নীচে নামে।

দ্বিতীয় সূত্র ঃ—কোন বস্তু, স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় নীচে পড়িতে থাকিলে, উহাতে উৎপন্ন বেগের (v) পরিমাণ সময়ের (t) সমানুপাতিক হয় ($v=gt$ সমীকরণ হইতে)।

তৃতীয় সূত্র ঃ—কোন বস্তু স্থির অবস্থা হইতে বিনা বাধায় নীচে পড়িতে থাকিলে, বস্তুটির অতিক্রান্ত পথ (s) সময়ের (t) বর্গের সমানুপাতিক হইবে ($s=\frac{1}{2}gt^2$ সমীকরণ হইতে)।

গিনি ও পালকের পরীক্ষা দ্বারা প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ—এই পরীক্ষার জন্য একটি লম্বা ও মোটা কাচ-নলের (AB) মধ্যে একটি গিনি (ভারী জিনিস) এবং একটি পালক (হাল্কা জিনিস) প্রবেশ করাইয়া নলের একমুখ একটি বায়ুনিরোধক ছিপি (C) দ্বারা বন্ধ করা হইল (7.2 নং চিত্র)। মোটা নলের অন্য মুখে একটি ছিপিযুক্ত (S) সরুনল (T) লাগাইয়া উহাদের সাহায্যে AB নলের মধ্যস্থ সমস্ত বাতাস বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের দ্বারা বাহির করিয়া লইয়া ছিপি (S) বন্ধ করিয়া রাখা হইল। নলটিকে যদি তাহার উল্লম্ব অবস্থা হইতে খুব দ্রুত উল্টাইয়া ধরা হয় তাহা হইলে দেখা যায় যে ভারী এবং হাল্কা বস্তু একই সঙ্গে নলের অপর প্রান্তে পৌঁছিয়াছে। কিন্তু ছিপি (S) খুলিয়া নলের মধ্যে বাতাস ঢুকাইয়া পূর্বের পরীক্ষা পুনরায় করিলে দেখা যাইবে যে ভারী বস্তু আগে এবং হাল্কা বস্তু পরে নলের অপর প্রান্তে পৌঁছিয়াছে। অতএব, এই পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে পতনশীল বস্তুর উপর কোনরূপ বাধা না থাকিলে ভারী এবং হাল্কা বস্তু, সমান দ্রুততায় নীচে পড়ে।



চিত্র 7.2 : গিনি ও পালকের পরীক্ষা

দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ—এই সূত্র অনুযায়ী, কোন পতনশীল বস্তুতে t সেকেণ্ডে যে বেগ (v) উৎপন্ন হইবে তাহা t-এর সমানুপাতিক হইবে। দেখা গিয়াছে যে, অভিকর্ষের-জন্য অবাধে পতনশীল কোন

বস্তুর বেগ প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি সেকেণ্ডের শেষে যথাক্রমে 32 ফুট/সেকেণ্ড, 64 ফুট/সেকেণ্ড, 96 ফুট/সেকেণ্ড প্রভৃতি হইয়া থাকে। এই ঘটনাগুলির দ্বারা দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

তৃতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ—এই সূত্র অনুযায়ী, কোন পতনশীল বস্তু যদি t সেকেণ্ডের শেষে s রাস্তা অতিক্রম করে তাহা হইলে ঐ রাস্তা (s) সময়ের বর্গের সহিত সমানুপাতিক হইবে [অর্থাৎ $s \propto t^2$]। দেখা গিয়াছে যে অভিকর্ষের জন্য অবাধে পতনশীল বস্তু প্রথম, দ্বিতীয়, তৃতীয় প্রভৃতি সেকেণ্ডের শেষে যথাক্রমে 16 ফুট, 64 ফুট, 144 ফুট, প্রভৃতি রাস্তা অতিক্রম করিয়া থাকে। ইহার দ্বারা তৃতীয় সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।

7-7. অভিকর্ষজাত ত্বরণের পরিবর্তন (Variation of acceleration due to gravity) ঃ অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান (অর্থাৎ g-এর-মান) বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইয়া থাকে। g-এর পরিবর্তন কেন হয় তাহা নিম্নের আলোচনা হইতে বোঝা যাইবে।

(a) **ভূ-পৃষ্ঠের বিভিন্ন স্থানে** ঃ

(i) **পৃথিবীকে স্থির ধরিয়া** ঃ—পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে কোনও-স্থানের দূরত্ব R হইলে ঐ স্থানে রক্ষিত একক ভরের বস্তুর উপর M ভরের পৃথিবী যে আকর্ষণ-বল প্রয়োগ করিবে (যাহাকে ঐ স্থানের g বলে) তাহার পরিমাণ হইবে,

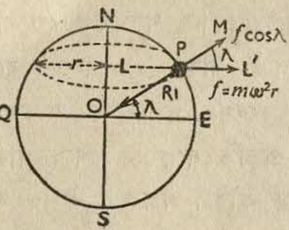
$$g=\frac{GM\times 1}{R^2}=\frac{GM}{R^2} \text{ (মহাকর্ষ সূত্র অনুযায়ী) } \cdots \quad \cdots \qquad (7\text{-}7a)$$

কিন্তু পৃথিবীর দুই মেরুর দিকে একটু চাপা থাকায় উহার আকার ডিম্বাকৃতি হয়। এজন্য পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে মেরুর দূরত্ব (R_p) অপেক্ষা বিষুবরেখার দূরত্ব (R_e) সামান্য বেশী হয়। সুতরাং $\frac{g_p}{g_e}=\frac{R_e^2}{R_p^2}$। যেহেতু, $R_e>R_p$, সেইহেতু $g_p>g_e$; অর্থাৎ, অভিকর্ষজাত-ত্বরণের মান মেরু অঞ্চলে (g_p) বেশী হইবে এবং বিষুব অঞ্চলে (g_e) সামান্য কম হইবে।

(ii) **পৃথিবীকে ঘূর্ণমান ধরিয়া** ঃ—পৃথিবী এবং তাহার পৃষ্ঠস্থিত যাবতীয় বস্তু পৃথিবীর সঙ্গে উহার অক্ষরেখার (NS) চারিদিকে 24 ঘণ্টায় একবার ঘুরিয়া আসিতেছে (7.3 নং চিত্র)। পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানের বস্তু, বিভিন্ন ব্যাসার্ধের ($=r$) বৃত্তে, একই কৌণিক বেগে ($=\omega=2\pi/T$; $T=24$ ঘণ্টা $=86400$ সেকেণ্ড) ঘুরিতেছে। এই ঘূর্ণনের জন্য যে অভিকেন্দ্র বলের প্রয়োজন তাহা বস্তুর ওজন হইতে সংগৃহীত হয়, এজন্য বস্তুর ওজন কিছুটা হ্রাস পায়। এই হ্রাসের পরিমাণ বিষুবরেখায়

সর্বাপেক্ষা বেশী হয় (কারণ এখানে ঘূর্ণন-বৃত্তের ব্যাসার্ধ $r=R_e$ সর্বাপেক্ষা বেশী) কিন্তু মেরুতে কিছুই হয় না (কারণ এখানে ঘূর্ণন-বৃত্তের ব্যাসার্ধ $r=0$)।

মনে কর পৃথিবীর λ অক্ষাংশে m ভরের কোন বস্তুকে P স্থানে রাখা হইয়াছে যেখানে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R_1=PO$। পৃথিবী P স্থানের বস্তুকে PO-এর দিকে (অর্থাৎ কেন্দ্রের দিকে) mg বল দ্বারা আকর্ষণ করিতেছে। পৃথিবী ω কৌণিক বেগে তাহার অক্ষের চারিদিকে ঘুরিতেছে বলিয়া, P স্থানের বস্তুটিও ω কৌণিক বেগে



চিত্র 7.3 :

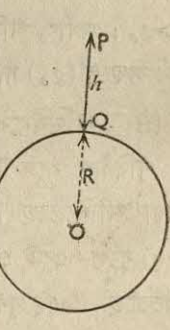
$r\,(=PL)$ ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ঘুরিতেছে। এই ঘূর্ণনের জন্য P স্থানের বস্তুর উপর $f=m\omega^2 r$ পরিমাণ অপকেন্দ্র বল PL'-এর দিকে ক্রিয়া করিবে। এই f-এর যে উপাংশ $(f\cos\lambda)\,PM$-এর দিকে ক্রিয়া করিতেছে তাহা বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বলের $(=mg)$ বিপরীত দিকে। কাজেই P স্থানের বস্তুর কার্যকরী ওজন হইবে $mg-f\cos\lambda=mg'$ (ধরা যাক)। সুতরাং $mg'=mg-m\omega^2 r\cos\lambda$; অথবা,

$$g'=g-\omega^2 r\cos\lambda=g-\omega^2 R_1\cos^2\lambda\;\;[\because\;\; r=R_1\cos\lambda\,]\;\;\cdots\;\;\cdots\;\;(7\text{-}7b)$$

অনুসিদ্ধান্ত 1. মেরু অঞ্চলে $\lambda=90^\circ$, কাজেই $g'=g$ (অভিকর্ষজনিত ত্বরণের গরিষ্ঠ মান)।

অনুসিদ্ধান্ত 2. বিষুব অঞ্চলে অক্ষাংশের মান $\lambda=0^\circ$, কাজেই এখানে $g'=g-\omega^2 R_1=g-\dfrac{4\pi^2 R_e}{T^2}=$ অভিকর্ষজনিত ত্বরণের লঘিষ্ঠ মান। বিষুবরেখার ব্যাসার্ধ $R_e=6{\cdot}37\times10^8$ $cm.$ ধরিয়া লইলে এবং T-এর মান 86400 সেকেণ্ড বসাইলে $\dfrac{4\pi^2 R_e}{T^2}$-এর মান হইবে 3·37। কাজেই $g'=g-3{\cdot}37$। অতএব, অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান, মেরু অঞ্চলে যাহা হইবে $(=g)$ তাহা অপেক্ষা বিষুব অঞ্চলে 3·37 সে. মি./সেকেণ্ড² দ্বারা কম হইবে।

(*b*) **ভূ-পৃষ্ঠের উচ্চে ঃ** মনে কর m ভরের কোন বস্তুকে পৃথিবীর Q স্থান হইতে P স্থানে লইয়া যাওয়া হইল যাহার উচ্চতা (Q হইতে) $h=QP$ (7·4 নং চিত্র)। Q স্থানে পৃথিবীর ব্যাস যদি R হয় এবং পৃথিবীর ভর M হয় তাহা হইলে P স্থানে রক্ষিত m ভরের বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল হইবে,



চিত্র 7.4 :

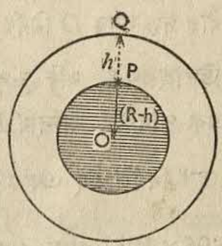
$$F_1=\frac{GMm}{(R+h)^2}=mg_1 \ [\, g_1=P\text{-স্থানে অভিকর্ষ-জাত ত্বরণ} \,]$$

$$\text{অতএব, } g_1=\frac{GM}{(R+h)^2}=\frac{GM}{R^2}\times\frac{1}{(1+h/R)^2}=\frac{g}{(1+h/R)^2} \quad \cdots \quad (7\text{-}7c)$$

এখানে $g=GM/R^2$ = ভূপৃষ্ঠের Q স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান। অতএব ভূ-পৃষ্ঠ হইতে বস্তুর উচ্চতা h যত বেশী হইবে g_1-এর মান তত কম হইবে। যখন $h << R$ তখন (7-7c) সমীকরণকে লেখা যায়,

$$g_1=g\left(1+\frac{h}{R}\right)^{-2}=g\left(1-\frac{2h}{R}\right) \quad \cdots \quad (7\text{-}7c')$$

(*c*) **ভূ-পৃষ্ঠের নিম্নে ঃ** মনে কর m ভরের কোন বস্তুকে ভূ-পৃষ্ঠের Q স্থান হইতে পৃথিবীর ভিতরে P স্থানে লইয়া যাওয়া হইল যাহার গভীরতা $h=QP$ 7.5 নং চিত্র)। যদি Q স্থানে পৃথিবীর ব্যাস R হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে, পৃথিবীর ($R-h$) ব্যাসার্ধের গোলকের মধ্যে যে ভর আছে তাহাই কেবল P স্থানের m ভরের বস্তুকে আকর্ষণ করিতে কার্যকরী হইবে। অতএব পৃথিবীর কার্যকরী আকর্ষণী



চিত্র 7 5 ঃ

ভর $=M'=\frac{4}{3}\pi(R-h)^3D$, এখানে D, পৃথিবীর গড় ঘনত্ব। অতএব, পৃথিবীর কার্যকরী আকর্ষণী ভর M' এবং P স্থানের m ভরের বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ-বল হইবে

$$F_2=\frac{GM'm}{(R-h)^2}=mg_2 \ [\, g_2=\text{পৃথিবীর } h \text{ গভীরতায় অভিকর্ষজাত ত্বরণ} \,]$$

$$\text{সুতরাং } g_2=\frac{GM'}{(R-h)^2}=\frac{G\times\frac{4}{3}\pi(R-h)^3\times D}{(R-h)^2}=G\tfrac{4}{3}\pi D\,(R-h)$$

$$\text{অথবা, } g_2=\frac{G(4\pi/3)\,R^3D}{R^2}\left(1-\frac{h}{R}\right)=\frac{GM}{R^2}\left(1-\frac{h}{R}\right)=g\left(1-\frac{h}{R}\right)\cdots(7\text{-}7d)$$

এখানে $g=\dfrac{GM}{R^2}$ = ভূ-পৃষ্ঠের Q স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান। অতএব (7-7d) সমীকরণ হইতে জানা যায় যে, ভূ-পৃষ্ঠ হইতে বস্তুকে যত নীচে লওয়া হইবে h-এর মান তত বৃদ্ধি পাইবে এবং g_2-এর মান-ও কমিয়া যাইবে। বস্তুকে যদি পৃথিবীর কেন্দ্রে লইয়া যাওয়া যায় তাহা হইলে $h=R$ হইবে এবং $g_2=0$ হইবে। কাজেই পৃথিবীর কেন্দ্রে বস্তুর কোন ওজন (mg_2) থাকে না যদিও তাহার ভর ঠিক থাকে।

7-8. পৃথিবীর ভর ও গড় ঘনত্ব (Mass and mean density of earth) ঃ ভূ-পৃষ্ঠের কোনও স্থানে রক্ষিত, একক ভরের বস্তুর উপর

পৃথিবীর আকর্ষণ-বল ঐ স্থানের অভিকর্ষজাত ত্বরণ (g) হইবে। পৃথিবীর ভর যদি M হয় এবং ঐ নির্দিষ্ট স্থানে পৃথিবীর ব্যাস যদি R হয় তাহা হইলে

$$g=\frac{GM}{R^2} \quad \cdots \quad (7\text{-}8a)$$

পরীক্ষা দ্বারা g এবং G-এর মান নির্ণয় করিলে (7-8a) সমীকরণ হইতে পৃথিবীর ভর M নির্ণয় করা যাইবে, কারণ পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R জানা থাকে।

আবার পৃথিবীর গড় ঘনত্ব যদি D হয় তাহা হইলে পৃথিবীর ভর $M=\frac{4}{3}\pi R^3 D$;
অথবা, $\frac{gR^2}{G}=M=\frac{4}{3}\pi R^3 D$; অথবা ; $D=\frac{3g}{4\pi RG}$ $\quad \cdots \quad$ (7-8b)

পৃথিবীর ভর M (7-8a) সমীকরণ দ্বারা নির্ণীত হইলে (7-8b) সমীকরণ দ্বারা পৃথিবীর গড় ঘনত্ব D নির্ণয় করা যাইবে।

উদাহরণ : যদি ভূ-পৃষ্ঠের কোনও স্থানে g-এর মান 980 সে. মি. / সেকেণ্ড² হয় এবং পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R=6{\cdot}37\times10^8$ সে. মি. ও মহাকর্ষীয় ধ্রুবক $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ সি.জি.এস্. একক লওয়া হয় তাহা হইলে, $M=\frac{gR^2}{G}=\frac{980(6{\cdot}37\times10^8)^2}{6{\cdot}67\times10^{-8}}$
$=5{\cdot}96\times10^{27}$ গ্রাম এবং $D=\frac{3g}{4\pi RG}=\frac{3\times980}{4\pi\times6{\cdot}37\times10^8\times6{\cdot}67\times10^{-8}}$
$=5{\cdot}5$ গ্রাম/সি. সি.।

7-9. বস্তুর ভর ও ভার (Mass and weight of a body) : কোন বস্তুর মধ্যে ভর বেশী থাকিলে উহাকে বেশী ভারী বলিয়া মনে হয়। এজন্য সাধারণভাবে আমরা বস্তুর ভর এবং ভারের মধ্যে কোন পার্থক্য করি না। প্রকৃত পক্ষে উহাদের মধ্যে কয়েকটি বিশেষ পার্থক্য আছে এবং যে যে বিষয়ে উহাদের মধ্যে পার্থক্য বিদ্যমান, সেই সব বিষয়গুলির আলোচনা নিম্নে দেওয়া হইল।

1. সংজ্ঞা : (i) কোন বস্তুর মধ্যস্থ পদার্থের (matter) মোট পরিমাণকে ঐ বস্তুর **ভর** (mass) বলে। (ii) বস্তুর উপর পৃথিবীর মোট আকর্ষণ-বলকে বস্তুর **ভার** বা **ওজন** (weight) বলে। যদি কোনও স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান g হয় তাহা হইলে নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী ঐ স্থানের m ভরের বস্তুর ভার বা ওজন হইবে $w=mg$ ।

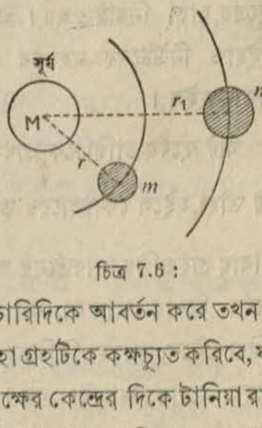
2. রাশি : (i) ভর একটি স্কেলার রাশি, কারণ ইহার পরিমাণ আছে কিন্তু কোন অভিমুখ নাই। (ii) বস্তুর ভার বা ওজন বলিতে উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল বুঝায়। বল একটি ভেক্টর রাশি, কাজেই বস্তুর ভার বা ওজন একটি ভেক্টর রাশি হইবে।

3. পরিবর্তন : (i) বস্তুর ভর অবিনশ্বর। ইহার পরিমাণ সর্বস্থানে ও সর্ব অবস্থায় একই থাকে এবং কোন ভৌতিক বা রাসায়নিক পরিবর্তনেও বস্তুর ভরের পরিবর্তন হয় না* অর্থাৎ বস্তুর ভরকে উহার **স্বকীয় ধর্ম** (intrinsic property) হিসাবে গণ্য করা হয়। (ii) কোনও স্থানে m ভরের বস্তুর পার্থিব ভার $w=mg$, ঐ স্থানের g-এর মানের উপর নির্ভর করিবে। কাজেই বস্তুর ভার বিষুব অঞ্চল অপেক্ষা মেরু অঞ্চলে সামান্য বেশী হইবে এবং ভূ-পৃষ্ঠের উপরে বা নীচে গেলে বস্তুর ভার কমিয়া যাইবে [7-7 পরিচ্ছেদ দেখ]। ভূকেন্দ্রে বস্তুর ভার শূন্য হইবে যদিও ভর একই থাকিবে।

4. একক : (i) সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি এস্. পদ্ধতিতে ভরের একক যথাক্রমে গ্রাম এবং পাউণ্ড। (ii) কিন্তু ঐ দুই পদ্ধতিতে ভারের একক যথাক্রমে ডাইন এবং পাউণ্ডাল।

5. মান-নিরূপণ যন্ত্র : সাধারণ তুলা দ্বারা ভর মাপা হয় কিন্তু সাধারণ তুলা দ্বারা ভারের পরিবর্তন ধরা যায় না। একটি নির্দিষ্ট স্থানে স্প্রিং তুলাকে গ্রামে কিংবা পাউণ্ডে অংশাঙ্কিত করিয়া স্প্রিং তুলা দ্বারা ঐ নির্দিষ্ট স্থানে বস্তুর ভর মাপাও যায়।

7-10. গ্রহ ও উপগ্রহের ঘূর্ণন (Rotation of Planets and Satellites) : সৌরজগতে প্রত্যেকটি গ্রহ সূর্যের চারিদিকে নির্দিষ্ট দূরত্বে থাকিয়া, নির্দিষ্ট কক্ষে ও নির্দিষ্ট সময়ে সর্বদা আবর্তন করিতেছে। আবার প্রত্যেক উপগ্রহ তাহার গ্রহের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে এবং নির্দিষ্ট সময়ে আবর্তন করিতেছে। গ্রহ ও উপগ্রহগুলির এই নিয়মানুগ আবর্তন নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায়।



চিত্র 7.6 :

মনে কর সূর্যের ভর M এবং উহার কেন্দ্র হইতে প্রথম গ্রহের (যাহার ভর m) এবং দ্বিতীয় গ্রহের (যাহার ভর m_1) দূরত্ব যথাক্রমে r ও r_1 $(r<r_1)$ [7.6নং চিত্র]। m ভরের গ্রহটি যখন সূর্যের চারিদিকে আবর্তন করে তখন ঐ ঘূর্ণমান গ্রহের উপর একটি অপকেন্দ্র বলের সৃষ্টি হয় যাহা গ্রহটিকে কক্ষচ্যুত করিবে, যদি না ঘূর্ণমান গ্রহকে একটি উপযুক্ত পরিমাণ বল দ্বারা কক্ষের কেন্দ্রের দিকে টানিয়া রাখা হয়। মহাকর্ষ সূত্র অনুযায়ী সূর্য এবং গ্রহের মধ্যে একটি আকর্ষণ বল ক্রিয়া করে যাহার

---

*আইনষ্টাইনের আপেক্ষিক তত্ত্ব দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে বস্তুটি যদি আলোর গতিবেগের কাছাকাছি বেগে চলে, তাহা হইলে উহার ভর বৃদ্ধি পায়। সাধারণতঃ বস্তুর বেগ আলোকের গতিবেগের অনেক কম থাকে, এজন্য উহার ভরের পরিবর্তন নগণ্য হয়।

পরিমাণ $\frac{GMm}{r^2}$। অতএব গ্রহটি সূর্যের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে এবং নির্দিষ্ট বেগে $(=v)$ ঘুরিতে বাধ্য হইবে যখন উহাতে সৃষ্ট অপকেন্দ্র বল (mv^2/r), গ্রহ এবং সূর্যের মধ্যের আকর্ষণ বলের সহিত সমান হইবে। অর্থাৎ গ্রহটির নির্দিষ্ট কক্ষে ঘূর্ণনের শর্ত হইল, $\frac{mv^2}{r}=\frac{GMm}{r^2}$; অথবা, $v^2=\frac{GM}{r}$; কিন্তু $v=\omega r=2\pi r/T$ [এখানে ω = গ্রহের কৌণিক বেগ এবং T = গ্রহের আবর্তন কাল]। কাজেই

$$v^2=\frac{GM}{r};\ \text{অথবা, } \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}=\frac{GM}{r};\ \text{অথবা, } T^2=\frac{4\pi^2 r^3}{GM} \quad \cdots \quad (7\text{-}10a)$$

অতএব ঘূর্ণমান গ্রহটি সূর্য হইতে যতদূরে থাকিবে (অর্থাৎ, r-এর মান যত বেশী হইবে) গ্রহটির ঘূর্ণনবেগ (v) তত কম হইবে এবং আবর্তনকাল (T) তত বেশী হইবে [(7-10a) সমীকরণ]। এই কারণে কোন কৃত্রিম উপগ্রহকে পৃথিবী হইতে যত দূরে স্থাপন করা যাইবে উহার আবর্তন-কাল তত কম হইবে।

(7-10a) সমীকরণ হইতে জানা যায় যে, সূর্যের চারিদিকে গ্রহগুলির আবর্তন-কালের বর্গের সহিত (T^2-এর সহিত) উহাদের গড় দূরত্বের ঘনফলের (অর্থাৎ r^3-এর) সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ $T^2 \propto r^3$। ইহা কেপলারের তৃতীয় সূত্র। গ্রহগুলির সূর্যের চারিদিকে নিয়মানুগ আবর্তন কেপলারের তিনটি সূত্রের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। আবার কেপলারের এই তৃতীয় সূত্র সত্য বলিয়া ধরিয়া লইয়াও নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রের উপপাদন (deduction) সম্ভব, যাহা নিম্নে দেখান হইল।

যদি সূর্যের চারিদিকে প্রথম ও দ্বিতীয় গ্রহের আবর্তনকাল যথাক্রমে T ও T_1 হয় তাহা হইলে কেপলারের তৃতীয় সূত্র অনুযায়ী, $\frac{T^2}{T_1^2}=\frac{r^3}{r_1^3}$ $\cdots$ $\cdots$(7-10b)

আবার গ্রহগুলির আবর্তনের জন্য যে অভিকেন্দ্র বলের প্রয়োজন তাহা গ্রহ এবং সূর্যের মধ্যের আকর্ষণ বল দ্বারা পূরণ হইয়া যাইতেছে। গ্রহগুলির কক্ষ বৃত্তাকার ধরিয়া লইলে, আমরা লিখিতে পারি, প্রত্যেক গ্রহতে সৃষ্ট অভিকেন্দ্র বল = সূর্য এবং গ্রহের মধ্যের আকর্ষণ বল। যদি সূর্য এবং প্রথম গ্রহের (যাহার ভর m) মধ্যে আকর্ষণ বল F হয় এবং সূর্য ও দ্বিতীয় গ্রহের (যাহার ভর m_1) মধ্যে আকর্ষণ বল F_1 হয় তাহা হইলে,

$$\frac{F}{F_1}=\frac{mv^2/r}{m_1 v_1^2/r_1}=\frac{m}{m_1}\times\frac{r_1}{r}\times\frac{v^2}{v_1^2}=\frac{mr_1}{m_1 r}\times\frac{(2\pi r/T)^2}{(2\pi r_1/T_1)^2}$$

অথবা, $\frac{F}{F_1}=\frac{m}{m_1}\times\frac{r}{r_1}\times\frac{T_1^2}{T^2}=\frac{m}{m_1}\times\frac{r}{r_1}\left(\frac{r_1^3}{r^3}\right)$ [7-10(*b*) সমীকরণ]

অথবা, $\frac{F}{F_1}=\frac{Gm/r^2}{Gm_1/r_1^2}$ [নিউটনের মহাকর্ষ সূত্র] ... (7-10*c*)

অতএব মহাকর্ষ সূত্র হইতে যেমন কেপলারের তৃতীয় সূত্র পাওয়া যায় সেইরূপ কেপলারের তৃতীয় সূত্র হইতেও মহাকর্ষ সূত্র পাওয়া যায়। সুতরাং নভোমণ্ডলের গ্রহ, উপগ্রহ প্রভৃতির গতি-প্রকৃতি মহাকর্ষ সূত্র এবং কেপলারের সূত্র দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হইয়া থাকে।

7-11. নিক্ষিপ্ত বস্তুর ন্যূনতম বেগ যাহা উহাকে পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে লইয়া যাইবে (Minimum velocity of a projected body which will bring it beyond the attraction of earth) ঃ

পৃথিবীকে যদি R ব্যাসার্ধের এবং M ভরের একটি গোলক ধরা হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে ভূ-পৃষ্ঠের উপরিস্থিত m ভরের কোন বস্তুর স্থিতিশক্তির পরিমাণ হইবে $=\frac{GMm}{R}$ ... ... (7-11*a*)

যদি বস্তুকে v পরিমাণ ন্যূনতম বেগে নিক্ষেপ করা হয় তাহা হইলে উহা পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে যাইবে যখন উহার গতিশক্তি=স্থিতিশক্তি।

অর্থাৎ, $\frac{1}{2}mv^2=\frac{GMm}{R}$; অথবা, $v=\sqrt{\frac{2GM}{R}}$... ... (7-11*b*)

উদাহরণ ঃ যদি পৃথিবীর ভর $M=5{\cdot}96\times10^{27}$ গ্রাম এবং উহার ব্যাসার্ধ $R=6{\cdot}67\times10^8$ সে. মি. ধরা হয় এবং G-এর মান $6{\cdot}67\times10^{-8}$ লওয়া হয় তাহা হইলে উহাদিগকে (7-11 *b*) সমীকরণে বসাইলে, v-এর মান পাওয়া যাইবে $10{\cdot}91\times10^5$ সে. মি. প্রতি সেকেণ্ডে।

7-12. কক্ষে ঘূর্ণমান উপগ্রহের ভারশূন্যতা (Weightlessness in orbiting satellites) ঃ

m ভরের কোন উপগ্রহ (satellite) যখন M ভরের কোন গ্রহের চারিদিকে নির্দিষ্ট কক্ষে, নির্দিষ্ট বেগে এবং নির্দিষ্ট সময়ে আবর্তন করে তখন উপগ্রহটির উপর দুইটি সমান ও বিপরীতমুখী বল একযোগে ক্রিয়া করে যাহার ফলে উপগ্রহটি ভারশূন্য অবস্থায় নির্দিষ্ট বেগে এবং নির্দিষ্ট কক্ষে আবর্তন করিতে থাকে।

যদি গ্রহ এবং উপগ্রহের কেন্দ্রের মধ্যের দূরত্ব R হয় এবং গ্রহের ভর M হয় তাহা হইলে গ্রহ, উপগ্রহটির উপর যে আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে তাহার পরিমাণ,

নিউটনের মহাকর্ষ-সূত্র অনুযায়ী, হইবে $F=\frac{GMm}{R^2}$ । এই আকর্ষণ বল F উপগ্রহের কক্ষের কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া করিবে। আবার উপগ্রহটি যখন R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে v পরিমাণ বেগে ঘুরিতে থাকে তখন উহার উপর যে অপকেন্দ্র বল ক্রিয়া করে তাহার পরিমাণ হইবে $F'=\frac{mv^2}{R}$ এবং এই বল F' উপগ্রহের কক্ষের কেন্দ্রের বহিরাভিমুখে ক্রিয়া করে। ঘূর্ণমান উপগ্রহের উপর এই যে দুইটি বিপরীতমুখী বল (F ও F') একযোগে ক্রিয়া করে তাহাদের পরিমাণ সমান হইলেই উপগ্রহটি নির্দিষ্ট কক্ষে ভারশূন্য অবস্থায় ঘুরিতে থাকিবে। অতএব উপগ্রহটির ভারশূন্য অবস্থায় নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরিবার শর্ত হইল, $F=F'$।

অথবা, $\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$; অথবা, $v=\sqrt{\frac{GM}{R}}$ ... ... (7-12a)

সুতরাং উপগ্রহটির বেগ (v) (7-12a) সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হইলেই উহা R ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ভারশূন্য অবস্থায় ঘুরিতে থাকিবে।

এই নিয়মে কোন কৃত্রিম উপগ্রহকে পৃথিবীর কেন্দ্র হইতে $(R+h)$ দূরে স্থাপন করিয়া যদি উহাতে v পরিমাণ বেগ প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে উহা ভারশূন্য অবস্থায় পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করিতে থাকিবে যদি প্রযুক্ত বেগের পরিমাণ $v=\sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। এখানে M এবং R যথাক্রমে পৃথিবীর ভর ও ব্যাসার্ধ এবং h = ভূ-পৃষ্ঠ হইতে কৃত্রিম উপগ্রহের উচ্চতা।

এই উপগ্রহের প্রদক্ষিণকাল যদি T হয় তাহা হইলে, $v=\frac{2\pi(R+h)}{T}$ । সুতরাং

$\frac{4\pi^2(R+h)^2}{T^2}=\frac{GM}{R+h}$; অথবা, $T=2\pi(R+h)\sqrt{\frac{R+h}{GM}}$ ... (7-12b)

অতএব, উপগ্রহটি গ্রহ হইতে যত দূরে থাকিবে $(R+h)$-এর মান তত বেশী হইবে এবং উপগ্রহটির আবর্তনকাল বেশী হইবে, অর্থাৎ উহা আস্তে আস্তে ঘুরিতে থাকিবে।

7-13. **দোলক (Pendulum)**ঃ কোন বস্তুকে তাহার ভারকেন্দ্র ব্যতীত অন্য যে কোন বিন্দু হইতে বিলম্বিত করিলে উহা একটি দোলনক্ষম বস্তু হইবে যাহাকে দোলক বলা যাইতে পারে। দোলক দুই প্রকারের হইতে পারে, যথা,— (i) সরল দোলক এবং (ii) যৌগিক দোলক। এখানে সরল দোলকই আমাদের আলোচ্য বিষয় হইবে।

আদর্শ সরল দোলকের সংজ্ঞাঃ একটি ভারী বস্তুকণাকে (heavy particle) একটি ভারশূন্য (weightless), অপ্রসারণীয় (inextensible) এবং

নমনীয় (flexible) সূতা দ্বারা কোন দৃঢ় অবলম্বন (rigid support) হইতে ঝুলাইয়া দিলে যদি কণাটি ঘর্ষণশূন্য (frictionless) বিলম্ব বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া স্বাধীনভাবে (freely) দুলিতে পারে তাহা হইলে ঐ দোলনক্ষম কণাকে **আদর্শ সরল দোলক** (ideal simple pendulum) বলে।

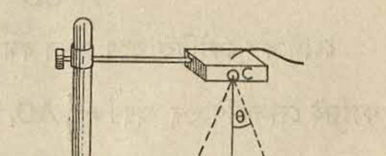
আদর্শ সরল দোলকের সংজ্ঞায় এমন সব পরস্পর-বিরোধী শর্ত আরোপ করা হইয়াছে যাহা বাস্তবে পালন করা অসম্ভব। এজন্য ব্যবহারিক ক্ষেত্রে, একটি ছোট ধাতব বলকে পাকহীন সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া দিয়া একটি সরল দোলক গঠন করা হয়। এইরূপ সরল দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (effective length) হইবে, l= সূতার দৈর্ঘ্য (l') + বলের ব্যাসার্ধ (r)। অর্থাৎ, $l=(l'+r)$।

7-14. সরল দোলকের গতির বৈশিষ্ট্য (Characteristics of the motion of a simple pendulum) ঃ

পরীক্ষাগারে ব্যবহৃত দোলকের গতির কয়েকটি বৈশিষ্ট্য লক্ষিত হয় যাহাদের বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

(i) দোলকপিণ্ডকে যদি দীর্ঘ সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া রাখা হয় এবং ইহার কৌণিক সরণ খুব কম হয় তাহা হইলে পিণ্ডটি একটি সরলরেখার (AOB) এক প্রান্ত (A প্রান্ত) হইতে উহার বিপরীত প্রান্তে (B প্রান্তে) যায় এবং সেখান হইতে পুনরায় তাহার পূর্বপ্রান্তে (A প্রান্তে) একটি নির্দিষ্ট সময়ের পর ফিরিয়া আসে, সে সময়কে দোলকের **দোলন কাল** (T) বলা হয় [7.7 নং চিত্র]।

(ii) দোলকের দোলকপিণ্ডের গতি যখন একটি সরলরেখায় (AOB) হইতে থাকে তখন উহার উপর একটি ত্বরণ (বা বল) সর্বদা পিণ্ডের সাম্য অবস্থানের (O) অভিমুখে ক্রিয়া করে [7.7 নং চিত্র]।



চিত্র 7.7 : দোলক

(iii) পিণ্ডের উপর ক্রিয়াশীল ত্বরণের (বা বলের) পরিমাণ উহার সাম্য অবস্থান (O) হইতে সরণের সমানুপাতিক হয় [7.7 নং চিত্র]।

যে গতিতে উপরোক্ত শর্তগুলি পালিত হয় তাহাকে **সরল দোলগতি** (simple harmonic motion) বলা হয়। কাজেই ব্যবহৃত দোলকের গতি সরল দোলগতি হইবে।

7-15. সরল দোলকের দোলনকালের সূত্র নির্ণয় (To deduce the formula for the period of oscillation of a simple pendulum) ঃ

মনে কর r ব্যাসার্ধের একটি ছোট ধাতব বলকে (O) l' দৈর্ঘ্যের $(=CO)$ লম্বা সূতা দ্বারা একটি দৃঢ় অবলম্বন (C) হইতে ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। কাজেই ইহা একটি সরল দোলক হইল যাহার কার্যকরী দৈর্ঘ্য $l=(l'+r)$ [7.7নং চিত্র]।

ধাতব বলকে A প্রান্তে টানিয়া আনিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা B প্রান্তে যাইবে এবং নির্দিষ্ট সময়ের $(=T)$ পর উহা পুনরায় A স্থানে ফিরিয়া আসিবে। এই নির্দিষ্ট সময় T দোলকের দোলনকাল হইবে। m ভরের ধাতব বলটি (যাহাকে দোলকের পিণ্ড বলে) যখন A প্রান্তে যায় তখন উহার উপর mg পরিমাণ অভিকর্ষ বল খাড়া নীচের দিকে (AL-এর দিকে) ক্রিয়া করে। এই অভিকর্ষ বলের $mg\cos\theta$ উপাংশ AL_1-এর দিকে ক্রিয়া করিয়া সূতাকে টান রাখিতেছে এবং অপর উপাংশ $mg \sin \theta$, AL_2-এর দিকে ক্রিয়া করিয়া পিণ্ডকে তাহার সাম্য অবস্থান O-এর দিকে লইয়া যাইতে চেষ্টা করিতেছে। অতএব দোলায়মান পিণ্ডের উপর কার্যকরী

$$\text{বল} = mg \sin \theta = mg\,\theta = mg\frac{AO}{CO} = mg\,\frac{AO}{l} \quad \cdots \quad (7\text{-}15a)$$

দোলকের কৌণিক সরণ θ খুব কম হওয়ায় $\sin \theta=\theta$ রেডিয়ান লওয়া হইল। কাজেই দোলকপিণ্ডের ত্বরণ $=\frac{g}{l}AO$, যাহা পিণ্ডের সরণের $(=OA)$ সমানুপাতিক। সূতাটি খুব লম্বা থাকায় এবং কৌণিক বিস্তার θ খুব কম হওয়ায় পিণ্ডটির গতি প্রায় সরলরেখায় হইবে। এজন্য **পিণ্ডের গতিকে সরল দোলগতি বলা যাইতে পারে।** কিন্তু দেখান যাইতে পারে [শব্দ বিজ্ঞানের 1-3 পরিচ্ছেদের (1-2b) সমীকরণ দেখ] যে, সব রকম সরল দোলগতির ত্বরণ $=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\times$ সরণ। পিণ্ডের গতি সরল দোলগতি হওয়ায় উহার ত্বরণ = সরল দোলগতির ত্বরণ; অর্থাৎ,

$$\frac{g}{l}AO=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\times AO\,; \quad \text{অথবা,} \quad T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad \cdots(7\text{-}15b)$$

7-16. সরল দোলকের সূত্রাবলী এবং তাহাদের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Laws of Simple Pendulum and their experimental verifications) ঃ সরল দোলকের সূত্রগুলি (7-15b) সমীকরণের (অর্থাৎ $T=2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণের) মধ্যে নিহিত আছে। এই সমীকরণ হইতে

জানা যায় যে দোলকের দোলনকাল (T), দোলনের বিস্তার* কিংবা দোলক-পিণ্ডের ভর বা পদার্থের উপর নির্ভর করে না কিন্তু দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (l) এবং অভিকর্ষজাত ত্বরণের (g) উপর নির্ভর করে।

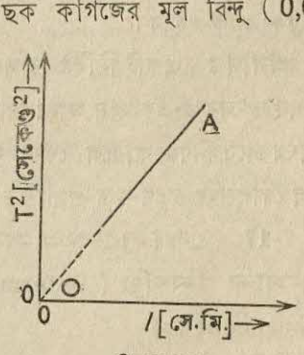
প্রথম সূত্র—সমকাল সূত্র (Law of Isochronism) :—4° কৌণিক বিস্তারের মধ্যে সরল দোলকের দোলনকাল উহার বিস্তারের উপর নির্ভর করে না।

প্রমাণ : দোলকপিণ্ডকে একপাশে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা অভিকর্ষের ক্রিয়ায় দুলিতে থাকিবে। উহার বিভিন্ন বিস্তারের জন্য (4° কোণের মধ্যে) 20টি পূর্ণ দোলনের সময় স্টপ-ঘড়ি দ্বারা নির্ণয় করিলে দেখা যায় যে ঐ সময় সব বিস্তারের ক্ষেত্রে একই থাকিতেছে। ইহা দ্বারা প্রথম সূত্র প্রমাণিত হয়।

দ্বিতীয় সূত্র—দৈর্ঘ্যের সূত্র (Law of Length) :—নির্দিষ্ট স্থানে, দোলকের দোলনকাল (T) উহার কার্যকরী দৈর্ঘ্যের (l) বর্গমূলের সমানুপাতিক। অর্থাৎ নির্দিষ্ট স্থানে, $T \propto \sqrt{l}$; অথবা l/T^2 ধ্রুবক হইবে।

প্রমাণ : দোলকের সূতার দৈর্ঘ্য (l') স্কেল দ্বারা এবং উহার পিণ্ডের ব্যাস ($=2r$) স্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা মাপিয়া লইলে উহার কার্যকরী দৈর্ঘ্য $l=(l'+r)$ পাওয়া যাইবে। দোলকের প্রত্যেক কার্যকরী দৈর্ঘ্যের জন্য উহার পিণ্ডের 20টি পূর্ণ দোলনের সময় ($=t$ সেকেণ্ড) স্টপঘড়ি দ্বারা নির্ণয় করিলে উহার দোলনকাল $T=t/20$ পাওয়া যাইবে। দোলকের বিভিন্ন কার্যকরী দৈর্ঘ্যের জন্য l ও T নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে l/T^2 ধ্রুবক হইতেছে। ইহা দ্বারা দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হয়।

লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ :—একটি ছক কাগজের মূল বিন্দু (0,0) লইয়া, উহার x-অক্ষের দিকে দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য (l) এবং y-অক্ষের দিকে দোলনকালের বর্গ (T^2) প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে দেখা যায় যে ঐ লেখটি একটি সরলরেখা (OA) হইতেছে এবং মূলবিন্দুর (0, 0) মধ্য দিয়া যাইতেছে (7.৪নং চিত্র)। ইহা দ্বারাও প্রমাণিত হয় যে দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্যের (l) সহিত উহার দোলনকালের বর্গ (T^2) সমানুপাতিক হইতেছে। কাজেই এই লেখচিত্রও দোলকের দৈর্ঘ্যের সূত্র প্রমাণ করে।

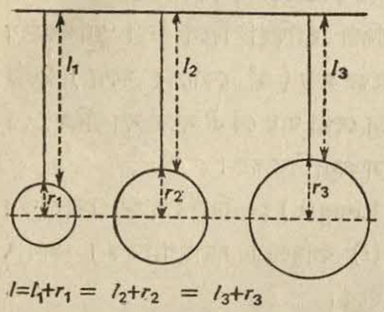


চিত্র 7.৪ :

* দোলকের সাম্য অবস্থান (O) হইতে দুই দিকের যে কোন দিকের চরম রৈখিক সরণকে (OA কিংবা OB) এবং কৌণিক সরণকে (θ) যথাক্রমে দোলকপিণ্ডের রৈখিক কিংবা কৌণিক **বিস্তার** (amplitude) বলে (7.7 নং চিত্র)।

তৃতীয় সূত্র—ভরের সূত্র (Law of Mass) ঃ—নির্দিষ্ট স্থানে, নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের সরল দোলকের দোলনকাল, দোলকের পিণ্ডের ভর, আকার বা পদার্থের উপর নির্ভর করে না।

প্রমাণ ঃ বিভিন্ন পদার্থের ও বিভিন্ন আকারের কয়েকটি পিণ্ড লইয়া কতকগুলি সরল দোলক গঠন করা হইল যাহাদের প্রত্যেকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য সমান। অর্থাৎ, (সূতার দৈর্ঘ্য+পিণ্ডের ব্যাসার্ধ) সকল দোলকের ক্ষেত্রে একই থাকে [7.9নং চিত্র]। 7.9নং চিত্রে দেখা যায় যে, $l=(l_1+r_1)=(l_2+r_2)=(l_3+r_3)$। একটি স্টপ-ঘড়ির সাহায্যে প্রত্যেক দোলকের 20টি পূর্ণ দোলনের সময় নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে ঐ সময় সব দোলকের ক্ষেত্রে একই হইতেছে। ইহা দ্বারা সরল দোলকের তৃতীয় সূত্র প্রমাণিত হইল।



চিত্র 7.9 ঃ

চতুর্থ সূত্র—অভিকর্ষজাত ত্বরণের সূত্র (Law of Acceleration due to gravity) ঃ—বিভিন্ন স্থানে, নির্দিষ্ট দোলকের দোলনকাল (T), ঐ সব স্থানের অভিকর্ষজাত ত্বরণের (g) বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ $T \propto \sqrt{1/g}$; অথবা, $T^2 g=$ধ্রুবক হইবে।

প্রমাণ ঃ একটি নির্দিষ্ট দোলককে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে লইয়া যাওয়া হইল, যে সব স্থানের g-এর মান জানা আছে। ঐ সব স্থানে দোলকের দোলনকাল (T) যথাযথভাবে নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে $T^2 g$ ধ্রুবক হইতেছে। ইহা দ্বারা সরল দোলকের চতুর্থ সূত্র প্রমাণিত হয়।

7-17. দোলকের সাহায্যে অভিকর্ষজাত ত্বরণের (g)-মান নির্ণয় (Determination of 'g' at a place by pendulum experiment) ঃ

নীতি ঃ দোলকের দোলনকাল (T), উহার কার্যকরী দৈর্ঘ্য (l) এবং অভিকর্ষজাত ত্বরণের (g) মধ্যের পারস্পরিক সম্বন্ধ $T=2\pi\sqrt{l/g}$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হয়। এই সমীকরণ হইতে আমরা পাই, $g=\dfrac{4\pi^2 l}{T^2}$ ... . (7-17a)

কোনও স্থানে, দোলকের (l/T^2)-এর মান নির্ণয় করিলে ঐ স্থানের (g)-এর মান পাওয়া যাইবে।

8. শব্দের লিপিবদ্ধকরণ এবং উহার পুনরুৎপাদন যেভাবে করা হয় তাহার সংক্ষিপ্ত আলোচনা কর। [Art. 3-9]

9. আলো যে একটি তরঙ্গজনিত ঘটনা, কণিকাজনিত ঘটনা নয় তাহা প্রথম কে আবিষ্কার করেন? আলো যে তরঙ্গাকারে চলে তাহা কিভাবে বোঝা যায়? তরঙ্গের বিস্তারের জন্য একটি স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের প্রয়োজন কিন্তু আলোকতরঙ্গ শূন্যস্থানের মধ্য দিয়াও যায়। এই সমস্যার সমাধান কিভাবে করা হইয়াছিল? [Art. 3-10]

10. আলো যে নির্দিষ্ট বেগে চলে তাহার কোন পরীক্ষামূলক প্রমাণ আছে কি? আকাশে এমন অনেক তারকা দেখা যায় যাহারা বহু বৎসর আগে বিলুপ্ত হইয়াছে। এইরূপ কেন দেখা যায় তাহার ব্যাখ্যা দিতে পার কি? [Art. 3-11]

11. আলোর ব্যতিচার ও সমবর্তন বলিতে কি বুঝ? উহাদিগকে দেখাইবার কোন পরীক্ষার বিবরণ দাও। [Arts. 3-12, 3-13]

12. 'জ্যামিতিক আলোকবিজ্ঞান মোটামুটিভাবে কার্যকরী'—এই উক্তির সার্থকতা বুঝাইয়া দাও। [Art. 3-14]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 3]

A. **Multiple Choice type** : (1) বাতাসের মধ্য দিয়া শব্দ কি পদ্ধতিতে যায়?—অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গরূপে, তির্যক তরঙ্গরূপে, কণিকারূপে। (2) শব্দ-তরঙ্গ ও আলোকতরঙ্গের মধ্যে পার্থক্য কি?—শব্দ-তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ এবং আলোকতরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ; শব্দ-তরঙ্গ তরল ও গ্যাসের মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ কিন্তু উহাদের মধ্যে আলোকতরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ। (3) বাতাসের মধ্যে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইলে শব্দের বেগের কি পরিবর্তন হইবে?—হ্রাস হইবে, বৃদ্ধি পাইবে, অপরিবর্তিত থাকিবে।

B. **Recall type** : (1) রোমার বৃহস্পতির নিকটতম উপগ্রহের—দেখিয়া এই সিদ্ধান্তে আসিলেন যে আলো একটি—বেগে চলে। (2) দুইটি বিভিন্ন যন্ত্র হইতে একই কম্পাঙ্কের ও—শব্দ উৎপন্ন হইলেও যে—দ্বারা উহাদের পার্থক্য ধরা যায় তাহাকে শব্দের—বলে। (3) দুইটি টুরম্যালিনের আলোক-অক্ষ—থাকিলে দ্বিতীয় টুরম্যালিনের কাছে চোখ রাখিলে আলো দেখা যাইবে কিন্তু দ্বিতীয় টুরম্যালিনের আলোকঅক্ষ প্রথম টুরম্যালিনের আলোকঅক্ষের—রাখিলে কোন আলো দেখা যাইবে না।

C. **True or False type** : আলোকতরঙ্গ সর্বদা তির্যক তরঙ্গ। (2) আলোর বিস্তারের জন্য কোন বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। (3) বাতাসের মধ্যে শব্দ বিস্তারের সময় যে ঘনীভবন ও তনুভবন হয় তাহা সম-উষ্ণতায় হইয়া থাকে। (4) বাতাসের মধ্যে যখন শব্দ-তরঙ্গ ও আলোকতরঙ্গ যায় তখন উভয় ক্ষেত্রেই তরঙ্গের সমবর্তন ঘটনা দেখা যায়।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 3]

1. বায়ুর স্বাভাবিক চাপে ও উষ্ণতায় শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। বায়ুর উষ্ণতা 50°C এবং চাপ 740 মি. মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান হইলে ঐ বায়ুতে শব্দের বেগ কত হইবে?

উঃ। বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ কেবলমাত্র উষ্ণতার উপর নির্ভর করে উহার চাপের উপর নির্ভর করে না। কাজেই বায়ুর চাপ 760 মি. মি. হইতে কমিয়া 740

বিজ্ঞান (যাহা আলোর ঋজুগতি তত্ত্বের উপর প্রতিষ্ঠিত) মোটামুটিভাবে কার্যকরী। ফ্রেনেল (Fresnel) একটি সমতল আলোক তরঙ্গকে অনেকগুলি বলয়ে ভাগ করিয়া (ঐ বলয়গুলিকে 'হাফ্-পিরিয়ড জোন' বলে) প্রমাণ করিয়াছিলেন যে আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব কম হওয়ার জন্যই উহার ঋজুপথে যাওয়ার ঘটনা মোটামুটিভাবে সত্য যদিও একবারে পুরাপুরি সত্য নয়।

শব্দ-তরঙ্গ খুব বড় হওয়ায় (প্রায় 5 ফুট) এই তরঙ্গের ব্যাবর্তন এত বেশী হয় যে কোন যন্ত্র ছাড়াই উহা সহজেই ধরা যায়। যেমন ঘরের পিছনে কোন শব্দ করিলে ঐ শব্দ-তরঙ্গ ঘরের ধারে বাঁকিয়া সম্মুখ-দরজা দিয়া ঘরে-প্রবেশ করে কিন্তু ঘরের পিছনে কোন আলোর উৎস রাখিলে সে আলো ঘরের ধারে বাঁকিয়া ঘরের মধ্যে প্রবেশ করে না। আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম বলিয়া এতটা বাঁকিয়া আসা সম্ভব হয় না।

আবার আলোর ব্যতিচারের ফলে যে পর্যায়ক্রমে অন্ধকার এবং আলোকিত রেখা পাওয়া যায় তাহা আলোর ঋজুপথে যাওয়ার তথ্য দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায় না। এই সব ঘটনা হইতে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানে যে সব ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া যায় তাহা স্থূল ব্যাখ্যা, সূক্ষ্ম ব্যাখ্যা নয়।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 3]

1. শব্দ-তরঙ্গ যে একটি স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ তাহা কিভাবে বোঝা যায়? [Art. 3-1]

2. কোন কঠিন, তরল কিংবা উন্মুক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার যে সব পদ্ধতি তোমার জানা আছে তাহার বিবরণ দাও। [Arts. 3-2 হইতে 3-4]

3. উন্মুক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার সময় কি কি ত্রুটি আসিতে পারে? ঐ ত্রুটিগুলি কিভাবে অপসারণ করা যায়? [Art. 3-4]

4. নিউটন কি অনুমানের উপর নির্ভর করিয়া $V=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ সূত্র হইতে $V=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$ সূত্র নির্ণয় করিয়াছিলেন? নিউটনের অনুমানে কি ত্রুটি ছিল এবং এই ত্রুটি কাহার দ্বারা এবং কিভাবে সংশোধিত হইয়াছিল? এই সংশোধিত সূত্রটি লিখ এবং এই সূত্রটি যে নির্ভুল তাহা কিভাবে স্থির করিবে? [Art. 3-5]

5. গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দের বেগ কি কি বিষয় দ্বারা প্রভাবিত হয়? তাহাদের সম্বন্ধে আলোচনা কর। [Art. 3 6]

6. শ্রুতিগোচর শব্দ, শব্দেতর শব্দ এবং শব্দোত্তর শব্দের মধ্যে কি পার্থক্য? শ্রুতিমধুর ও শ্রুতিকটু শব্দের মধ্যে কি পার্থক্য? এমন কতকগুলি যন্ত্রের নাম কর যাহারা শ্রুতিমধুর শব্দ উৎপন্ন করে। শব্দ শ্রুতিমধুর হওয়ার শর্ত কি কি? [Arts. 3-7, 3-8]

7. স্বরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য কি কি? মূলস্বর, উপস্বর, সমমেল কথাগুলির অর্থ বুঝাইয়া দাও। [Art. 3-8]

16. 40 ইঞ্চ একটি লম্বা চোঙের খোলামুখে একটি 256 কম্পাঙ্কের স্বরশলাকাকে কম্পনশীল অবস্থায় ধরিয়া নলের মধ্যে আস্তে আস্তে জল ঢালিতে থাকা হইল। জলের কত দৈর্ঘ্যের জন্য দ্বিতীয় অনুনাদ এবং প্রথম অনুনাদ পাওয়া যাইবে? নলের বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

[**Ans.** দ্বিতীয় ও প্রথম অনুনাদের জন্য জলের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে, '625 এবং 26'875 ইঞ্চি]

সংকেত : [$\lambda=\frac{v}{n}=\frac{1120}{256}=4{\cdot}375$ ফুট $=52{\cdot}5$ ইঞ্চি। দ্বিতীয় অনুনাদের জন্য বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইবে $l_2=\frac{3\lambda}{4}=\frac{3\times52{\cdot}5}{4}=39{\cdot}375$ ইঞ্চ। কাজেই চোঙের মধ্যে জলের দৈর্ঘ্য হইবে $(40-39{\cdot}375)$ $={\cdot}625$ ইঞ্চ।

প্রথম অনুনাদের জন্য বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইবে $l_1=\frac{\lambda}{4}=\frac{52{\cdot}5}{4}=13{\cdot}125$ ইঞ্চ। কাজেই জলস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইবে $(40-13{\cdot}125)=26{\cdot}875$ ইঞ্চি।]

17. একটি খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনে যে মূলস্বর উৎপন্ন হইতেছে তাহার কম্পাঙ্ক এবং একটি 33 সে. মি. দৈর্ঘ্যের তারের কম্পাঙ্কের সমান, যখন তারের টান 8 কিলোগ্রাম-ভার এবং উহার রৈখিক ঘনত্ব $={\cdot}04$ গ্রাম প্রতি সে. মি.-এ। খোলা নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর যখন বায়ুতে শব্দের বেগ $=330$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। [**Ans.** 79·1 সে.মি.]

18. **[ডপ্‌লার-তত্ত্বের অঙ্ক :]** কোন শব্দের উৎস এক সেকেণ্ড পর পর শব্দ উৎপন্ন করিতে করিতে একজন স্থির শ্রোতার দিকে $(V/20)$ বেগে অগ্রসর হইতেছে [এখানে $V=$শব্দের বেগ]। শ্রোতার কাছে দুইটি পর পর শব্দের সময়ান্তর কত হইবে? [এখানে $N=1$; $v_s=\frac{V}{20}$; $v_o=0$; $N'=\frac{20}{19}$ হইবে] [**Ans.** $\frac{19}{20}$ সেকেণ্ড]

অতএব শ্রোতার কাছে দুইটি পরবর্তী শব্দের সময়ান্তর হইবে $T=\frac{1}{N'}=\frac{19}{20}$ সেকেণ্ড]

19. একটি 10,000 কম্পাঙ্কের শব্দের উৎস কতবেগে একজন স্থির শ্রোতার দিকে অগ্রসর হইবে যাহার জন্য ডপ্‌লার পরিবর্তন (Doppler shift) হইবে 200? (এখানে $N'>N$; কাজেই ডপ্‌লার পরিবর্তন $=N'-N=200$; অথবা, $N'=10{,}200$; $V=1120$ ফুট/সেকেণ্ড] [**Ans.** 21·9 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে]

20. একটি শব্দ সৃষ্টিকারী এঞ্জিন ঘণ্টায় 118·8 কিলোমিটার বেগে কোন লোকের দিকে অগ্রসর হইতেছে এবং লোকটিও একটি গাড়ী চালাইয়া সমান বেগে এঞ্জিনের দিকে অগ্রসর হইতেছে। এঞ্জিনের শব্দের কম্পাঙ্ক 1000 হইলে, শ্রোতার কাছে ঐ শব্দের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 1220]

21. একটি এঞ্জিন শব্দ সৃষ্টি করিতে করিতে একটি স্থির শ্রোতার দিকে 100 ফুট/সেকেণ্ড বেগে অগ্রসর হইতেছে। এঞ্জিনের শব্দের কম্পাঙ্ক এবং শ্রোতার শুনা শব্দের কম্পাঙ্কের মধ্যে শতকরা পার্থক্য কত হইবে? বাতাসে শব্দের বেগ $=1100$ ফুট/সেকেণ্ডে।

[**Ans.** কম্পাঙ্কের শতকরা বৃদ্ধি $=\frac{N'-N}{N}\times100=10\%$]

8. 50 সে. মি. দৈর্ঘ্যের একটি তারকে 10 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান করিয়া রাখিলে উহা যে মূলসুর উৎপন্ন করে, তাহার কম্পাঙ্ক 1% বৃদ্ধি করিতে হইলে কি পরিমাণ (i) দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিতে হইবে, (ii) টান পরিবর্তন করিতে হইবে? [**Ans.** (i) ·49 সে. মি., (ii) 200 গ্রাম-ভার।]

সংকেত : $\left[n_2=\frac{101}{100}n_1\right.$; প্রথম ক্ষেত্রে ; $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$; দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $\left.\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}\right]$

9. দুইটি সমদৈর্ঘ্যের পিতল ও লোহার তারকে যথাক্রমে 5 কিলোগ্রাম-ভার ও 3 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান রাখিয়া উহাদিগকে সমসুরে আনা হইল। পিতলের তারের ব্যাস = ·8 মি. মি. হইলে লোহার-তারের ব্যাস কত হইবে? পিতলের এবং লোহার ঘনত্ব যথাক্রমে, 8·5 ও 7·5 গ্রাম প্রতি সি.সি.-তে।

[**Ans.** লোহার তারের ব্যাস = ·6598 মি.মি.]

10. [**স্বরকম্পের অঙ্ক :**] একটি অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকা 256 সুরশলাকার সঙ্গে প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। অজানা কম্পাঙ্কের শলাকার বাহুকে মোম দ্বারা ভারী করিলে পুনরায় প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 260]

সংকেত : [অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক হয় 256 + 4 = 260 না হয় 256 − 4 = 252 হইবে। কিন্তু 252 হইতে পারে না কারণ শলাকার বাহুতে মোম লাগাইয়া উহার কম্পাঙ্ক কমাইয়া দিলে প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা আরও বাড়িয়া যাইত। যদি অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক 260 থাকে তাহা হইলে মোম লাগানোর পর উহার কম্পাঙ্ক 252-তে আসিবে যাহার জন্য প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প শুনা যাইবে।]

11. দুইটি একই প্রকার তার, একই কম্পাঙ্কের মূলসুর উৎপন্ন করিতেছে। একটি-তারের টান 2·01% বাড়াইয়া দিলে উহাদের মধ্যে প্রতি সেকেণ্ডে 3-টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। তার দুইটির প্রাথমিক কম্পাঙ্ক কত ছিল?

[**Ans.** 300]

সংকেত : $\left[T_2=\frac{102{\cdot}01}{100}T_1 \right]$

12. এক মিটার লম্বা তারকে টান করিয়া বাঁধিয়া উহাকে দুইভাগ করা হইল যাহাদের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 2 মি. মি.। এই দুই অংশের মধ্যে প্রতি সেকেণ্ডে একটি স্বরকম্প উৎপন্ন হইলে, তারের ঐ দুই অংশের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** ছোট অংশের কম্পাঙ্ক = 250·5 ; বড় অংশের কম্পাঙ্ক = 249·5]

13. কোনও তারকে 10·2 এবং 9·9 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান রাখিলে উহারা যথাক্রমে একটি শলাকার সহিত 12 সেকেণ্ডে 20-টি স্বরকম্পের সৃষ্টি করে। শলাকার কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 223·87]

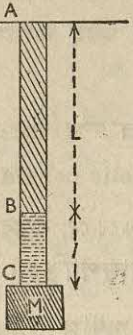
সংকেত : $\left[\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{10{\cdot}2}{9{\cdot}9}}=1{\cdot}015\right.$; $\frac{n_1-n_2}{n_2}=\frac{{\cdot}015}{1}$। প্রথম ক্ষেত্রে $n_1-n=\frac{20}{12}$; দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $n-n_2=\frac{20}{12}$; সুতরাং $n_1-n_2=2\times\frac{20}{12}=\frac{10}{3}$; ইত্যাদি]

14. [**বায়ুস্তম্ভের অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের অঙ্ক :**] দুইটি খোলা নলের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 33 ইঞ্চি এবং 33·5 ইঞ্চি। উহাদের কম্পন একসঙ্গে হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 3-টি স্বরকম্প শুনা যায়। উহাদের মূল সুরের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 201 ও 198]

15. কোন গ্যাসভর্তি 4 ফুট লম্বা বন্ধ নলের সহিত একটি সুরশলাকাকে সমসুরে আনা হইল। একই সুরশলাকাকে 5 ফুট লম্বা একটি বাতাস ভর্তি খোলা নলের সহিত সমসুরে আনা হইল। বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, বন্ধ নলের মধ্যস্থ গ্যাসে শব্দের বেগ কত হইবে?

[**Ans.** 1792 ফুট/সেকেণ্ড]

ব্যাখ্যা।—মনে কর $L(=AB)$ দৈর্ঘ্যের কোন তারের উপর প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে (A) আটকাইয়া উহার নীচ প্রান্ত (B) হইতে M গ্রামভার ঝুলাইয়া দেওয়া হইল (8.1 নং চিত্র)। এই ভারের টানে যদি তারটির দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি l হয় তাহা হইলে তারের অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি হইবে (l/L)। তারটিকে যে Mg পরিমাণ বল দ্বারা নীচের দিকে টানা হইতেছে তাহা তারের $\pi d^2/4$ প্রস্থচ্ছেদের লম্বের দিকে ক্রিয়া করিতেছে (এখানে d তারের ব্যাস বুঝাইতেছে)। অতএব তারের প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফলের লম্বের দিকে যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহার পরিমাণ হইবে $\frac{Mg}{\pi d^2/4}$ এবং ইহাই তারের অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন হইবে। স্থিতিস্থাপকতার সীমার মধ্যে, তারের পদার্থের

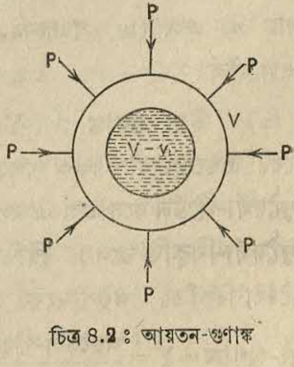


চিত্র 8.1 : ইয়ং-গুণাঙ্ক

$$\textbf{ইয়ং-গুণাঙ্ক} = Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}} = \frac{Mg}{\pi d^2/4} \times \frac{L}{l} \text{ ডাইন/বর্গসেন্টিমিটার} \cdots (8\text{-}2a)$$

(ii) **আয়তন-গুণাঙ্ক** (Bulk modulus—K) :—কোন বস্তুর উপরতলের লম্বের দিকে সমভাবে বল প্রয়োগ করিলে তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর যে পরিমাণ অভিলম্ব বল থাকিবে তাহাকে **আয়তন-পীড়ন** বলে এবং ঐ বল দ্বারা একক আয়তন পদার্থের আয়তন-পরিবর্তনকে **আয়তন-বিকৃতি** বলে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর আয়তন-পীড়ন এবং আয়তন-বিকৃতির অনুপাতকে বস্তুর পদার্থের আয়তন-গুণাঙ্ক বলে। অর্থাৎ, **আয়তন-গুণাঙ্ক** $= K = \frac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন-বিকৃতি}}$। ইহার একক স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের এককের অনুরূপ হইবে।

ব্যাখ্যা।—মনে কর V আয়তনের কোন বস্তুর উপরতলের সর্বস্থানে একই পরিমাণ বল তলের লম্বের দিকে প্রয়োগ করা হইল (8.2নং চিত্র)। যদি তলের একক ক্ষেত্রফলের লম্বের দিকে P পরিমাণ বল প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে বস্তুর আয়তন-পীড়ন হইবে P। বস্তুর উপরতলের উপর এইরূপ অভিলম্ব বল প্রযুক্ত থাকায় এই বলের প্রভাবে বস্তুটির কেবলমাত্র আয়তন পরিবর্তন হইবে। এই আয়তন পরিবর্তন যদি v হয় তাহা হইলে বস্তুর আয়তন-বিকৃতি (v/V)। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে



চিত্র 8.2 : আয়তন-গুণাঙ্ক

8. 50 সে. মি. দৈর্ঘ্যের একটি তারকে 10 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান করিয়া রাখিলে উহা যে মূলসুর উৎপন্ন করে, তাহার কম্পাঙ্ক 1% বৃদ্ধি করিতে হইলে কি পরিমাণ (i) দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিতে হইবে, (ii) টান পরিবর্তন করিতে হইবে? [**Ans.** (i) ·49 সে. মি., (ii) 200 গ্রাম-ভার।]

সংকেত : [$n_2=\frac{101}{100}n_1$; প্রথম ক্ষেত্রে ; $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$; দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$]

9. দুইটি সমদৈর্ঘ্যের পিতল ও লোহার তারকে যথাক্রমে 5 কিলোগ্রাম-ভার ও 3 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান রাখিয়া উহাদিগকে সমসুরে আনা হইল। পিতলের তারের ব্যাস = ·8 মি. মি. হইলে লোহার-তারের ব্যাস কত হইবে? পিতলের এবং লোহার ঘনত্ব যথাক্রমে, 8·5 ও 7·5 গ্রাম প্রতি সি.সি.-তে।

[**Ans.** লোহার তারের ব্যাস = ·6598 মি.মি.]

10. [**স্বরকম্পের অঙ্ক :**] একটি অজানা কম্পাঙ্কের সুরশলাকা 256 সুরশলাকার সঙ্গে প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প উৎপন্ন করে। অজানা কম্পাঙ্কের শলাকার বাহুকে মোম দ্বারা ভারী করিলে পুনরায় প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 260]

সংকেত : [অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক হয় 256+4=260 না হয় 256−4=252 হইবে। কিন্তু 252 হইতে পারে না কারণ শলাকার বাহুতে মোম লাগাইয়া উহার কম্পাঙ্ক কমাইয়া দিলে প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা আরও বাড়িয়া যাইত। যদি অজানা শলাকার কম্পাঙ্ক 260 থাকে তাহা হইলে মোম লাগানোর পর উহার কম্পাঙ্ক 252-তে আসিবে যাহার জন্য প্রতি সেকেণ্ডে 4-টি স্বরকম্প শুনা যাইবে।]

11. দুইটি একই প্রকার তার, একই কম্পাঙ্কের মূলসুর উৎপন্ন করিতেছে। একটি-তারের টান 2·01% বাড়াইয়া দিলে উহাদের মধ্যে প্রতি সেকেণ্ডে 3-টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। তার দুইটির প্রাথমিক কম্পাঙ্ক কত ছিল? [**Ans.** 300]

সংকেত : [$T_2=\frac{102·01}{100}T_1$]

12. এক মিটার লম্বা তারকে টান করিয়া বাঁধিয়া উহাকে দুইভাগ করা হইল যাহাদের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 2 মি. মি.। এই দুই অংশের মধ্যে প্রতি সেকেণ্ডে একটি স্বরকম্প উৎপন্ন হইলে, তারের ঐ দুই অংশের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** ছোট অংশের কম্পাঙ্ক = 250·5 ; বড় অংশের কম্পাঙ্ক = 249·5]

13. কোনও তারকে 10·2 এবং 9·9 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টান রাখিলে উহারা যথাক্রমে একটি শলাকার সহিত 12 সেকেণ্ডে 20-টি স্বরকম্পের সৃষ্টি করে। শলাকার কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 223·87]

সংকেত : [$\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{10·2}{9·9}}=1·015$; $\frac{n_1-n_2}{n_2}=\frac{·015}{1}$ । প্রথম ক্ষেত্রে $n_1-n=\frac{20}{12}$; দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $n-n_2=\frac{20}{12}$; সুতরাং $n_1-n_2=2\times\frac{20}{12}=\frac{10}{3}$; ইত্যাদি]

14. [**বায়ুস্তম্ভের অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের অঙ্ক :**] দুইটি খোলা নলের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 33 ইঞ্চি এবং 33·5 ইঞ্চি। উহাদের কম্পন একসঙ্গে হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 3-টি স্বরকম্প শুনা যায়। উহাদের মূল সুরের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** 201 ও 198]

15. কোন গ্যাসভর্তি 4 ফুট লম্বা বন্ধ নলের সহিত একটি সুরশলাকাকে সমসুরে আনা হইল। একই সুরশলাকাকে 5 ফুট লম্বা একটি বাতাস ভর্তি খোলা নলের সহিত সমসুরে আনা হইল। বাতাসে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেকেণ্ড হইলে, বন্ধ নলের মধ্যস্থ গ্যাসে শব্দের বেগ কত হইবে?

[**Ans.** 1792 ফুট/সেকেণ্ড]

অধ্যায় ৪

পদার্থের স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম
[Elastic properties of matter]

৪-1. স্থিতিস্থাপকতা ও তৎসংক্রান্ত কয়েকটি রাশি (Elasticity and some terms relating to it) ঃ স্থিতিস্থাপকতা পদার্থ মাত্রেরই একটি সাধারণ ধর্ম যাহার প্রভাবে পদার্থটি তাহার বিকৃতি সৃষ্টিকারী কোন বাহ্যিক বলকে সর্বদা প্রতিরোধ করে।

(a) **স্থিতিস্থাপকতা ঃ** বাহ্যিক বল প্রয়োগ করিয়া কোন বস্তুর বিকৃতি ঘটাইতে গেলে যদি বস্তুটি তাহার মধ্যে একটি প্রতিক্রিয়া বল সৃষ্টি করিয়া ঐ বাহ্যিক বলকে প্রতিরোধ করে তাহা হইলে বস্তুর ঐ ধর্মকে **স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম** (Elasticity) বলে এবং প্রযুক্ত বাহ্যিক বল যদি একটি নির্দিষ্ট উচ্চসীমার মধ্যে থাকে তাহা হইলে উহার অপসারণের পর বস্তুটি তাহার পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে।

(b) **স্থিতিস্থাপক সীমা ঃ** বিকৃতি সৃষ্টিকারী প্রযুক্ত বাহ্যিক বলকে একটি নির্দিষ্ট ঊর্ধ্বসীমার মধ্যে রাখিলে, বল অপসারণের পর বস্তুটি তাহার পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে। বাহ্যিক বলের এই নির্দিষ্ট ঊর্ধ্বসীমাকে বস্তুর পদার্থের **স্থিতিস্থাপক সীমা** (Elastic limit) বলে।

(c) **বিকৃতি ঃ** কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুর উপর বাহ্যিক বল প্রয়োগ করিয়া যদি উহার বিভিন্ন অংশের মধ্যে বিচ্যুতি ঘটানো যায় (এই বিচ্যুতির দ্বারা বস্তুর দৈর্ঘ্য বা আয়তন বা আকৃতির পরিবর্তন হইতে পারে) তাহা হইলে বস্তুর এই বিচ্যুতির জন্য উহার যে পরিবর্তন হইবে তাহাকে **বিকৃতি** (strain) বলে। বস্তুর প্রতি একক মাত্রায় যে পরিবর্তন সংঘটিত হয় তাহাই উহার বিকৃতির পরিমাপ হইবে, অর্থাৎ বস্তুর আনুপাতিক বিকারই বিকৃতির পরিমাপ হইবে।

বিকৃতি দুইটি সমগুণসম্পন্ন রাশির অনুপাত হওয়ায় ইহার কোন একক নাই, ইহা একটি সংখ্যা মাত্র।

(d) **পীড়ন ঃ** স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে, কোন বস্তুর উপর বাহ্যিক বল প্রয়োগ করিয়া উহাকে বিকৃত করিলে, স্থিতিস্থাপকতা ধর্মের প্রভাবে বস্তুর মধ্যে একটি প্রতিক্রিয়া বলের সৃষ্টি হয় যাহা বাহ্যিক বলকে প্রতিরোধ করিতে চেষ্টা করে। বস্তুর মধ্যে উদ্ভূত এই প্রতিক্রিয়া বলকেই **পীড়ন** (stress) বলে। বস্তুর সাম্য অবস্থায়,

প্রযুক্ত বাহ্যিক বল এবং পীড়ন সমান ও বিপরীতমুখী হয় কাজেই এই দুই বলের (বাহ্যিক বল এবং তাহার প্রতিক্রিয়া বল) যে কোনটিকে পীড়ন বলে।

বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বলের পরিমাণই পীড়নের পরিমাপ হইবে এবং সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ইহার একক হইবে 'ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

(e) **অসহ-ভার ও অসহ-পীড়ন :** কোন বস্তুর বিকৃতি সৃষ্টিকারী বাহ্যিক বলের পরিমাণ ক্রমশঃ বাড়াইতে থাকিলে এক সময় ঐ বলের পরিমাণ এমন একটি উচ্চসীমায় আসিবে যাহা দ্বারা বস্তুটি ভাঙ্গিয়া বা ছিঁড়িয়া যাইবে (লম্বা তারের ক্ষেত্রে)। বস্তুর উপর প্রযুক্ত এই সর্বোচ্চ পরিমাণ বলকে ঐ বস্তুর **অসহ-ভার** (Breaking load) বলে। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ইহাকে কিলোগ্রাম-ভারে প্রকাশিত হয়।

কোন বস্তুর অসহভারকে উহার প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল দ্বারা ভাগ করিলে যে ভাগফল হইবে তাহাকে বস্তুর পদার্থের **অসহ-পীড়ন** (Breaking stress) বলে। সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে ইহাকে 'কিলোগ্রাম-ভার প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে' প্রকাশ করা হয়।

(f) **স্থিতিস্থাপকতার পরবর্তী ফল** (Elastic after effect) : কোন বস্তুর বিকৃতি সৃষ্টিকারী বাহ্যিক বলের পরিমাণ বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে রাখিয়া ঐ বলকে অপসারণ করিলে দেখা যায় যে বিভিন্ন পদার্থের বস্তু বিভিন্ন সময়ে তাহাদের পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া যায়। বস্তুর পদার্থের এই ধর্মকে '**স্থিতিস্থাপকতার পরবর্তী ফল**' বলে। **যথা**.—কাচ এবং কোয়ার্টজের (quartz) উপর হইতে বিকৃতি সৃষ্টিকারী বলকে অপসারণ করিলে দেখা যায় যে কোয়ার্টজ প্রায় সঙ্গে সঙ্গেই তাহার পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে কিন্তু কাচ অনেক সময় পর তাহার পূর্বাবস্থায় ফিরিয়া আসে।

(g) **স্থিতিস্থাপক-ক্লান্তি** (Elastic fatigue) : **স্থিতিস্থাপক-ক্লান্তি** বস্তুর এমন একটি ধর্ম যাহার প্রভাবে বস্তুটি বিভিন্ন প্রকার ঘটনা দেখাইবে যদি উহার ঐ ঘটনা-প্রদর্শনের পূর্ব-ইতিবৃত্ত বিভিন্ন প্রকার থাকে। **যথা**—দুইটি টর্শন দোলক গঠন করা হইল যাহাদের পিণ্ডের আকার ও পদার্থ একই প্রকার এবং ঝুলন-তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং পদার্থও একই প্রকার। অর্থাৎ দোলক দুইটি সর্বসম। এক্ষণে প্রথম দোলকের পিণ্ডকে এপাশ-ওপাশ ঘুরাইয়া উহার ঝুলন-তারকে পর্যায়ক্রমে বিপরীত দিকে অনেকক্ষণ ধরিয়া মোচড়ান হইল। দ্বিতীয় দোলকের ঝুলন-তারকে এইরূপ মোচড় (twist) হইতে মুক্ত রাখা হইল। এইবার দুই দোলকের পিণ্ডকে একপাশে ঘুরাইয়া ছাড়িয়া দিলে উহাদের ঝুলন-তারে যে মোচড় হইবে তাহার ফলে উহাদের দোলন হইতে থাকিবে। দেখা যাইবে যে, প্রথম দোলক অপেক্ষা (যাহার কিছু পূর্ব-ইতিবৃত্ত ছিল) দ্বিতীয় দোলক (যাহার কোন পূর্ব-ইতিবৃত্ত ছিল না) বেশী সময়

ধরিয়া দুলিতে থাকিল। মনে হইতেছে, যেন প্রথম দোলকের ঝুলন-তার তাহার পূর্ব-ইতিবৃত্তের জন্য ক্লান্ত হইয়া ছিল যাহার জন্য ইহা কম সময় ধরিয়া দুলিল। প্রথম তারের সান্দ্রতার (viscosity) পরিবর্তন হওয়ার জন্যই এইরূপ ঘটনা দেখা যায়।

8-2. হুকের সূত্র ও বিভিন্ন প্রকার স্থিতিস্থাপক ধ্রুবক (Hooke's law and different kinds of elastic constants) ঃ

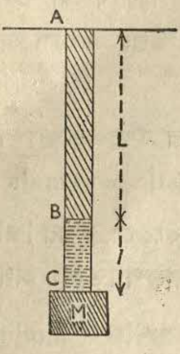
(a) **হুকের সূত্র** (Hooke's law)ঃ হুকের সূত্র বিবৃত করে যে, **বস্তুর স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে উহার পীড়ন ও বিকৃতি পরস্পর সমানুপাতিক।** **অর্থাৎ,** $\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}=\text{ধ্রুবক}=E$। এই ধ্রুবক E-কে **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক** (modulus of elasticity) বলে।

E-এর একক—$E=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$। বস্তুর একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণকে পীড়ন বলে। অতএব পীড়নের একক হইবে, ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে (সি জি. এস্. পদ্ধতিতে) এবং পাউণ্ডাল প্রতি বর্গফুটে (এফ্. পি. এস্ পদ্ধতিতে)। বিকৃতি দুইটি একই প্রকার রাশির অনুপাত হওয়ায় উহার কোন একক নাই। সুতরাং পীড়নের একক এবং সর্বপ্রকার স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের একক একই হইবে। অর্থাৎ, স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের একক হইবে ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে (সি জি. এস্. পদ্ধতিতে) এবং পাউণ্ডাল প্রতি বর্গফুটে (এফ্. পি এস্. পদ্ধতিতে)।

(b) **স্থিতিস্থাপক-ধ্রুবক** (Elastic constants) ঃ চারিটি স্থিতিস্থাপক-ধ্রুবক আছে যাহাদের নাম (i) ইয়ং-গুণাঙ্ক (Y), আয়তন-গুণাঙ্ক (K), (iii) দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক (n) এবং (iv) পয়সনের অনুপাত (σ)। ইহাদের সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা নিম্নে দেওয়া হইল।

(v) **ইয়ং-গুণাঙ্ক** (Young's modulus—Y)ঃ—কোন পদার্থের তারের প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফলের লম্বের দিকে প্রযুক্ত বলের পরিমাণকে **অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন** বলে এবং ঐ বল দ্বারা একক দৈর্ঘ্যের তারের দৈর্ঘ্য-পরিবর্তনকে **অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি** বলে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন এবং অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতির অনুপাতকে বস্তুর পদার্থের **ইয়ং-গুণাঙ্ক** বলে। অর্থাৎ, **ইয়ং-গুণাঙ্ক**$=Y=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}$। ইহার একক স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের এককের অনুরূপ হইবে।

ব্যাখ্যা—মনে কর $L(=AB)$ দৈর্ঘ্যের কোন তারের উপর প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে (A) আটকাইয়া উহার নীচ প্রান্ত (B) হইতে M গ্রামভার ঝুলাইয়া দেওয়া হইল (8.1 নং চিত্র)। এই ভারের টানে যদি তারটির দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি l হয় তাহা হইলে তারের অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি হইবে (l/L)। তারটিকে যে Mg পরিমাণ বল দ্বারা নীচের দিকে টানা হইতেছে তাহা তারের $\pi d^2/4$ প্রস্থচ্ছেদের লম্বের দিকে ক্রিয়া করিতেছে (এখানে d তারের ব্যাস বুঝাইতেছে)। অতএব তারের প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফলের লম্বের দিকে যে বল ক্রিয়া করিতেছে তাহার পরিমাণ হইবে $\frac{Mg}{\pi d^2/4}$ এবং ইহাই তারের অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন হইবে। স্থিতিস্থাপকতার সীমার মধ্যে, তারের পদার্থের

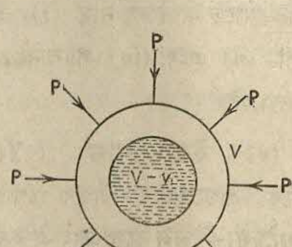


চিত্র 8.1 : ইয়ং-গুণাঙ্ক

$$\textbf{ইয়ং-গুণাঙ্ক} = Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}} = \frac{Mg}{\pi d^2/4} \times \frac{L}{l} \text{ ডাইন/বর্গসেন্টিমিটার} \cdots (8\text{-}2a)$$

(ii) **আয়তন-গুণাঙ্ক** (Bulk modulus—K) :—কোন বস্তুর উপরতলের লম্বের দিকে সমভাবে বল প্রয়োগ করিলে তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর যে পরিমাণ অভিলম্ব বল থাকিবে তাহাকে **আয়তন-পীড়ন** বলে এবং ঐ বল দ্বারা একক আয়তন পদার্থের আয়তন-পরিবর্তনকে **আয়তন-বিকৃতি** বলে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে বস্তুর আয়তন-পীড়ন এবং আয়তন-বিকৃতির অনুপাতকে বস্তুর পদার্থের আয়তন-গুণাঙ্ক বলে। অর্থাৎ, **আয়তন-গুণাঙ্ক** $= K = \frac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন-বিকৃতি}}$। ইহার একক স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের এককের অনুরূপ হইবে।

ব্যাখ্যা—মনে কর V আয়তনের কোন বস্তুর উপরতলের সর্বস্থানে একই পরিমাণ বল তলের লম্বের দিকে প্রয়োগ করা হইল (8.2নং চিত্র)। যদি তলের একক ক্ষেত্রফলের লম্বের দিকে P পরিমাণ বল প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে বস্তুর আয়তন-পীড়ন হইবে P। বস্তুর উপরতলের উপর এইরূপ অভিলম্ব বল প্রযুক্ত থাকায় এই বলের প্রভাবে বস্তুটির কেবলমাত্র আয়তন পরিবর্তন হইবে। এই আয়তন পরিবর্তন যদি v হয় তাহা হইলে বস্তুর আয়তন-বিকৃতি (v/V)। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে



চিত্র 8.2 : আয়তন-গুণাঙ্ক

পরীক্ষা ঃ একটি ধাতব বলের ব্যাস ($=2r$) স্লাইড ক্যালিপার্স দ্বারা মাপিয়া ঐ বলকে একটি l' দৈর্ঘ্যের সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া দিলে একটি সরল দোলক গঠিত হইবে। সূতার দৈর্ঘ্য (l') একটি স্কেলের সাহায্যে মাপিয়া লইলে দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য $l=(l'+r)$ পাওয়া যাইবে। এক্ষণে দোলকের 20টি পূর্ণ দোলনের সময় t সেকেণ্ড, একটি স্টপঘড়ি দ্বারা নির্ণয় করিলে দোলকের দোলনকাল $T=t/20$ পাওয়া যাইবে। দোলকের এই দৈর্ঘ্যের জন্য (l/T^2)-এর মান নির্ণীত হইল। দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য বিভিন্ন করিয়া প্রত্যেক ক্ষেত্রে (l/T^2)-এর মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে উহারা প্রায় সমান হইতেছে। বিভিন্ন কার্যকরী দৈর্ঘ্যের জন্য যে (l/T^2)-এর মান নির্ণীত হইল তাহাদের গড় লইয়া (7-17a) সমীকরণে বসাইলে নির্দিষ্ট স্থানে 'g'-এর মান পাওয়া যাইবে। এইভাবে বিভিন্ন স্থানে 'g'-এর মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে, ভূ-পৃষ্ঠের বিষুব অঞ্চল অপেক্ষা মেরু অঞ্চলে g-এর মান সামান্য বেশী। আবার পাহাড়ের উপরে এবং গভীর খনির নীচে 'g'-এর মান কম।

7-18. সেকেণ্ড দোলক এবং দোলক ঘড়ি (Seconds pendulum and pendulum clock) ঃ (a) **সেকেণ্ড দোলক ঃ** যে সরল দোলকের দোলনকাল 2 সেকেণ্ড তাহাকে সেকেণ্ড দোলক বলে। দোলকের সূত্র-গুলির সমন্বয়ে যে সমীকরণ পাওয়া যায় তাহা $T=2\pi\sqrt{l/g}$ দ্বারা প্রকাশিত হয়।

অতএব, দোলকের দৈর্ঘ্য $=l=\dfrac{T^2\times g}{4\pi^2}$ ... ...(7-18a)

(7-18 a) সমীকরণ হইতে জানা যায় যে কোনও স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য (l) ঐ স্থানের 'g'-এর মানের উপর নির্ভর করিবে।

(i) **সি. জি. এস. পদ্ধতিতে,** যদি কোনও স্থানে g-এর মান 980 সে. মি. (প্রতি সেকেণ্ড)^2 হয় তাহা হইলে ঐ স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য হইবে,

$$l=\frac{T^2g}{4\pi^2}=\frac{4\times 980}{4(3{\cdot}142)^2}=99{\cdot}26 \text{ সে. মি.}\cdots \quad \cdots(7\text{-}18\ b)$$

(ii) **এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে,** যদি কোনও স্থানে 'g'-এর মান 32 ফুট/সেকেণ্ড^2 হয় তাহা হইলে ঐ স্থানে সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য হইবে,

$$l=\frac{4\times 32}{4(3.142)^2} \quad \text{অথবা, } l=3{\cdot}241 \text{ ফুট}\cdots \quad \cdots \quad \cdots(7\text{-}18\ c)$$

(b) **দোলক-ঘড়ি (Pendulum clock) ঃ** যে সব ঘড়ির কাঁটার সরণ, দোলকের দোলনকাল দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় সেই সব ঘড়িকে **দোলক ঘড়ি** বলে। এই সব ঘড়ির দোলকের পিণ্ডকে একটি ধাতব দণ্ড দ্বারা ঝুলাইয়া রাখা হয় এবং ইহার অর্ধ দোলনের সময় এক সেকেণ্ড হয়।

যদি এই দোলকের দৈর্ঘ্য বেশী হয় (যেমন গরমের সময় হইয়া থাকে) কিংবা g-এর মান কম হয় (যেমন পাহাড়ের উপরে এবং গভীর খনির নীচে হইয়া থাকে) তাহা হইলে উহার দোলনকাল বেশী হইবে এবং ঘড়ি **ধীরে** চলিবে। আবার যদি দোলকের দৈর্ঘ্য কম হয় (যেমন শীতকালে হইয়া থাকে) কিংবা g-এর মান বেশী হয় (যেমন পৃথিবীর মেরুতে হইয়া থাকে) তাহা হইলে উহার দোলনকাল কম হইবে এবং ঘড়ি **দ্রুত** চলিবে।

7-19. পেণ্ডুলাম পরীক্ষা দ্বারা, ভূ-পৃষ্ঠ হইতে কোন স্থানের উচ্চতা বা গভীরতা নির্ণয় ঃ পেণ্ডুলাম পরীক্ষা দ্বারা কোনও স্থানের অভিকর্ষজাত ত্বরণ নির্ণয় করা যায় [7-17 পরিচ্ছেদ দেখ]। মনে কর পেণ্ডুলাম পরীক্ষা দ্বারা ভূ-পৃষ্ঠের কোনও স্থানের অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান g নির্ণয় করা হইল। ঐ স্থান হইতে h উচ্চতায় অভিকর্ষজাত ত্বরণ হইবে,

$$g_1 = \frac{g}{(1+h/R)^2} \quad [\,(7\text{-}7c) \text{ সমীকরণ দেখ}\,] \quad \cdots \quad (7\text{-}19a)$$

আবার ভূ-পৃষ্ঠের নির্দিষ্ট স্থান হইতে h গভীরতায় অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান হইবে $g_2 = g\,(1-h/R)$ [(7-7 d) সমীকরণ দেখ]। ... (7-19b)

কাজেই পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R জানা থাকিলে g, g_1 ও g_2 নির্ণয় করিয়া যথাক্রমে h উচ্চতা [(7-19a) সমীকরণ দ্বারা] কিংবা h গভীরতা [(7-19b) সমীকরণ দ্বারা] নির্ণয় করা যায়।

বিষয়-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions] (অধ্যায় 7)

1. মহাকর্ষ বলিতে কি বুঝ? নিউটনের মহাকর্ষ সূত্রটির উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। মহাকর্ষীয় ধ্রুবকের সংজ্ঞা লিখ এবং উহার একক স্থির কর। [Art. 7-1]

2. মহাকর্ষ সূত্রটি কি সার্বিকভাবে প্রযোজ্য ? এ সম্বন্ধে তোমার মতামত ব্যক্ত কর। [Art.7-2]

3. মহাকর্ষীয় ধ্রুবক নির্ণয় করিবার ক্যাভেনডিসের পরীক্ষার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। এই পরীক্ষায় কি কি ত্রুটি আছে ? [Art. 7-3]

4. কিরূপ পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া দুইটি বিস্তৃত বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ-বল নির্ণয় করা যায় ? [Art. 7-4]

5. অভিকর্ষ কাহাকে বলে ? মহাকর্ষ ও অভিকর্ষের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি ?

6. অভিকর্ষজাত ত্বরণ বলিতে কি বুঝ ? উহার মান সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কত হইবে ? পৃথিবী যেমন তাহার নিকটস্থ বস্তুকে আকর্ষণ করিয়া টানিয়া লয় সেইরূপ বস্তুটিও পৃথিবীকে আকর্ষণ করে ; কিন্তু পৃথিবী বস্তুর দিকে যায় না কেন ? ইহার উপযুক্ত ব্যাখ্যা দাও। [Art. 7-5]

7. অভিকর্ষজাত পতনশীল বস্তুর সূত্রাবলীর উল্লেখ কর। উহাদের সত্যতা কিভাবে প্রমাণ করিবে ? দেখাও যে, কোন পতনশীল বস্তু t সেকেণ্ডে যে রাস্তা অতিক্রম করিবে তাহা (প্রথম সেকেণ্ডে অতিক্রান্ত রাস্তা $\times t^2$)। [Art. 7-6]

8. ভূপৃষ্ঠের সবস্থানেই কি অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান এক হইবে ? ব্যাখ্যাসহ উত্তর দাও। [Art. 7-7]

9. পৃথিবী তাহার অক্ষের চারিদিকে 24 ঘণ্টায় একবার ঘুরিয়া আসিতেছে। ইহার জন্য অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান কিভাবে পরিবর্তন হইবে ? [Art. 7-7]

10. ভূপৃষ্ঠ হইতে h উচ্চতায় কিংবা h গভীরতায় গেলে g-এর মান কিভাবে পরিবর্তিত হইবে ? এই g-এর মান নির্ণয় করিয়া ঐ স্থানের উচ্চতা কিংবা গভীরতা নির্ণয় করা যায় কি ? [Arts, 7-7 ও 7-19]

11. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ জানা থাকিলে কিভাবে উহারা ভর এবং গড় ঘনত্ব নির্ণয় করা যায় ? কোন বস্তুর ভর ও ভারের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি ? যদি থাকে তাহা হইলে কি কি বিষয়ে উহাদের পার্থক্য বিদ্যমান ? [Arts. 7-8 ও 7-9]

12. গ্রহ ও উপগ্রহগুলি তাহাদের নির্দিষ্ট কক্ষে এবং নির্দিষ্ট সময়ে সর্বদা ঘুরিতেছে কেন ? ইহাদের ঘূর্ণনকালের সহিত উহাদের কক্ষের ব্যাসের কোন সম্বন্ধ আছে কি ? প্রমাণ কর যে মহাকর্ষ সূত্র হইতে যেমন কেপলারের তৃতীয় সূত্র নির্ণয় করা যায় সেইরূপ কেপলারের তৃতীয় সূত্র হইতেও মহাকর্ষ সূত্র নির্ণয় করা যায়। [Art. 7-10]

13. কোন বস্তুকে কত ন্যূনতম বেগে নিক্ষেপ করিলে উহা পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে যাইতে পারিবে ? কোন উপগ্রহকে কোন কক্ষে ভারশূন্য অবস্থায় ঘুরাইবার শর্ত কি ? [Arts. 7-11 ও 7-12]

14. সরল দোলকের সংজ্ঞা লিখ। সরল দোলকের গতির কি কি বৈশিষ্ট্য আছে ? প্রমাণ কর যে সরল দোলক যখন খুব কম বিস্তারে দোলে তখন উহার গতি সরল দোলগতি হয় এবং এই অবস্থায় উহার দোলনকাল (T) সমীকরণ $T=2\pi\sqrt{l/g}$ দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। এখানে l=দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য। [Arts. 7-13 to 7-15]

15. সরল দোলকের সূত্রগুলির উল্লেখ কর এবং উহাদের পরীক্ষা-মূলক প্রমাণ দাও। [Art 7-16]

16. দোলকের সাহায্যে কোনও স্থানের অভিকর্ষজাত ত্বরণ কিভাবে নির্ণয় করা যায় ? এই পরীক্ষা দ্বারা পৃথিবীর আকার সম্বন্ধে কোন ধারণা পাওয়া যায় কি ? [Art. 7-17]

17. সেকেণ্ড-দোলক কাহাকে বলে ? সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর যে স্থানের $g=980$ সে. মি./সেকেণ্ড^2। দোলক-ঘড়ি কাহাকে বলে। এই ঘড়ি কি সব অবস্থায় একই সময় দেয় ? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তি দেখাও। [Art. 7-18]

বাস্তব ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 7]

A. Multiple choice type : (1) 'g' বলিতে কি বুঝ ?—একক দূরত্বে অবস্থিত দুইটি একক ভরের বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ বলকে 'g' বলে ; পৃথিবী তাহার নিকটস্থ একক ভরের বস্তুকে যে বল দ্বারা আকর্ষণ করে তাহাকে 'g' বলে ; যে কোন দূরে অবস্থিত দুইটি বস্তুর মধ্যের আকর্ষণ বলকে 'g' বলে। (2) একটি দোলক-ঘড়িকে বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলে উহা দ্বারা নির্দেশিত সময়ের কোন পরিবর্তন দেখা যাইবে কি ?—সবস্থানেই ঘড়ি ঠিক সময় দেখাইবে ; ভূপৃষ্ঠের সর্বস্থানে ঘড়ি ঠিক সময় দেখাইবে কিন্তু ঘড়িকে পাহাড়ের উপর কিংবা গভীর খনির মধ্যে লইয়া গেলে ঘড়ি স্লো যাইবে ; ভূপৃষ্ঠের বিষুবরেখার উপর ঘড়ি যে ভাবে চলিবে, মেরু অঞ্চলে তাহা অপেক্ষা দ্রুত চলিবে এবং ভূপৃষ্ঠের উপরে এবং নীচে ঘড়ি ধীরে চলিবে। (3) কোন বস্তুর ভর ও ভার সব স্থানে কি একই থাকিবে ?—কোন বস্তুর ভর সর্বস্থানে একই থাকে, এমন কি বস্তুকে অন্য গ্রহে লইয়া গেলেও উহার ভর একই থাকে ; যদিও বস্তুর ভার বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হয়, পৃথিবীর মেরুতে বস্তুর যে ভার হইবে বিষুবরেখায় তাহা অপেক্ষা সামান্য কম হইবে,

ভূপৃষ্ঠের উপরে এবং নীচেও বস্তুর ভার কম হয়। বস্তুর ভর এবং ভার সর্বস্থানে একই থাকে, এমন কি বস্তুর পার্থিব ভর ও ভারের সহিত উহার চান্দ্রভর ও চান্দ্রভার সমান হইবে

B. Recall type : (1) কোন বস্তুকে রকেটে করিয়া উর্ধ্বে তুলিতে থাকিলে এমন একটি স্থান পাওয়া যায় যেখানে বস্তুটি—হয়। (2) বিষুব অঞ্চলে কোন বস্তুর—পৃথিবী স্থির থাকিলে যাহা হইবে, উহা উহার অক্ষরেখায় ঘুরিতে থাকিলে তাহা অপেক্ষা—হইবে। (3) পৃথিবীর আকর্ষণে—এবং—বস্তু বাধা না পাইলে সমান—পড়ে। (4) সরল দোলকের দৈর্ঘ্য—করিলে উহার দোলন কাল দ্বিগুণ হইবে।

C. True or False type : (1) g এবং G অক্ষর দুইটি মহাকর্ষীয় ক্ষেত্রে একই অর্থবোধক। (2) কোন বস্তুর সৌরভার পার্থিব ভর অপেক্ষা প্রায় 27 গুণ বেশী এবং বৃহস্পতির ভর পৃথিবীর ভর অপেক্ষা প্রায় 300 গুণ বেশী। (3) একটি দোলক ঘড়িকে ভূপৃষ্ঠের উপরে এবং নীচে লইয়া গেলে উহা স্লো যাইবে। (4) দোলক লইয়া পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে g-এর মনে নির্ণয় করিয়া জানা যায় যে পৃথিবীর আকার গোল। (5) কোন দোলকের দোলন-বিস্তার বিভিন্ন হইলেও উহার দোলনকাল একই থাকে।

কষা-অঙ্ক (Worked-out sums) [অধ্যায় 7]

1. 25 cm. ব্যাসার্ধের এবং 10·4 gms./c.c. ঘনত্বের একটি গোলককে, 1 cm. ব্যাসার্ধের একটি ছোট গোলকের ঠিক নীচে স্পর্শ করান হইল। ছোট গোলকটির শতকরা ওজন-বৃদ্ধি নির্ণয় কর যখন $G=6{\cdot}6\times10^{-8}$ c. g. s. একক।

উঃ। বড় গোলকটির ভর $=M=\frac{4}{3}\pi\times25^3\times10{\cdot}4$ গ্রাম ; ছোট গোলকটির ভর ধরা যাক্ m এবং ঐ দুই গোলকের মধ্যের দূরত্ব $=r=26$ cm.। দুই গোলকের মধ্যে আকর্ষণ-বল যদি $F=\frac{GMm}{r^2}$ হয় তাহা হইলে ছোট গোলকটির শতকরা ওজন বৃদ্ধি (x) হইবে, $x=\frac{F\times100}{mg}=\frac{GMm\times100}{r^2\times mg}$

$$=\frac{G\times\frac{4}{3}\pi\times25^3\times10{\cdot}4\times100}{26^2\times981}=6{\cdot}77\times10^{-6}\ \%\text{।}$$

2. যদি কোন কণা পৃথিবী-সংলগ্ন কক্ষে v দ্রুতিতে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে ঐ কণাকে v-এর কতগুণ বেগে নিক্ষেপ করিলে উহা পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে যাইবে?

উঃ। যদি পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হয় এবং কণাটি পৃথিবীর সংলগ্ন কক্ষে v দ্রুতিতে ঘুরিতে থাকে তাহা হইলে কণার সাম্য অবস্থার জন্য, পৃথিবীর আকর্ষণ বল= অভিকেন্দ্র বল।

অথবা, $\frac{GMm}{R^2}=\frac{mv^2}{R}$; অথবা, $v^2=\frac{GM}{R}$ [এখানে $M=$পৃথিবীর ভর]···(1)

আবার ঐ কণাকে v' বেগে নিক্ষেপ করিলে যদি উহা পৃথিবীর আকর্ষণের বাহিরে যায় তাহা হইলে $v'^2=\frac{2GM}{R}$ [(7-11b) সমীকরণ দেখ] ··· ···(2)

অতএব, $v'^2=2v^2$; অথবা $v'=\sqrt{2}v$ ··· ···(3)

3. একটি কৃত্রিম উপগ্রহ ভূপৃষ্ঠ হইতে 700 কিলোমিটার উপরে থাকিয়া পৃথিবীকে প্রদক্ষিণ করিতেছে। উপগ্রহটির অনুভূমিক বেগ কত ? পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=R=6300$ কিলোমিটার এবং ভূপৃষ্ঠে g-এর মান 981 cm./sec^2.।

উঃ। ভূপৃষ্ঠ হইতে উপগ্রহটির দূরত্ব যদি r কিলোমিটার হয় তাহা হইলে ভূকেন্দ্র হইতে $(R+r)$ কিলোমিটার দূরে ঘূর্ণমান উপগ্রহটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণ বল এবং উহার অপকেন্দ্র বল সমান হইবে। কাজেই $\frac{GMm}{(R+r)^2}=\frac{mv^2}{R+r}$ [m=উপগ্রহের ভর]

অতএব, $v^2=\frac{GM}{R+r}$। কিন্তু ভূপৃষ্ঠে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g=\frac{GM}{R^2}$;

অথবা, $GM=gR^2$। কাজেই $v^2=\frac{gR^2}{R+r}$; অথবা, $v=R\sqrt{\frac{g}{R+r}}$।

এখানে $g=981$ cm./sec.$^2=981\times10^{-5}$ কিলোমিটার/সেকেণ্ড^2। অতএব $v=6300\sqrt{\frac{981\times10^{-5}}{6300+700}}=7{\cdot}457$ km./sec.।

4. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $R=6{\cdot}37\times10^8$ cm., অভিকর্ষজাত ত্বরণ $g=980$ cm./sec^2. এবং মহাকর্ষীয় ধ্রুবক $G=6{\cdot}67\times10^{-8}$ c. g. s. একক ধরিয়া লইয়া, (*a*) পৃথিবীর গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর এবং (*b*) পৃথিবী-সংলগ্ন কক্ষে আবর্তনকারী একটি উপগ্রহের আবর্তনকাল নির্ণয় কর। (Burdwan, 1963)

উঃ। (*a*) [7-8 পরিচ্ছেদ দেখ]

(*b*) পৃথিবী এবং উপগ্রহের (যাহার ভর m) মধ্যের আকর্ষণ বল=উপগ্রহের ঘূর্ণনের জন্য অভিকেন্দ্র বল। সুতরাং $\frac{GMm}{R^2}=m\omega^2R=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\times R$; অথবা,

$g=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R\left[\because\ g=\frac{GM}{R^2}\right]$। অথবা, $T^2=\frac{4\pi^2R}{g}$; অথবা, $T=2\pi\sqrt{\frac{R}{g}}$।

সুতরাং $T=2\pi\sqrt{\frac{6{\cdot}37\times10^8}{980}}=5066$ সেকেণ্ড$=1{\cdot}407$ ঘণ্টা।

5. পৃথিবীর আবর্তনকাল কত হইলে উহার বিষুবরেখায় স্থাপিত কোন বস্তু ভারশূন্য হইবে ? $G=6{\cdot}6\times10^{-8}$ c. g. s. একক এবং পৃথিবীর গড় ঘনত্ব= 5·5 gms./c.c.।

উঃ। বস্তুটি বিষুবরেখায় ভারশূন্য হইবে যখন উহার উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল বস্তুর অপকেন্দ্র বল দ্বারা সম্পূর্ণরূপে নিষ্ক্রিয় হইয়া যাইবে। অতএব $GMm/R^2=m\omega^2R$।

অথবা, $G\frac{4}{3}\pi R^3 D=\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \times R^3$; অথবা, $T=\sqrt{\frac{3\pi}{GD}}$

অথবা, $T=\sqrt{\frac{3\pi}{6.6\times10^{-8}\times5.5}}=5095$ sec.$=1.416$ ঘণ্টা।

6. একটি ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড-দোলকযুক্ত ঘড়ি দিনে 20 সেকেণ্ড স্লো যায়। উহার দৈর্ঘ্য-পরিবর্তন কি পরিমাণ করিলে উহা ঠিক সময় দেখাইবে ? $g=980$ cm./sec^2।

উঃ। একদিন=86400 সেকেণ্ড, কাজেই ঘড়ির দোলকটির স্পন্দন একদিনে $(86400-20)$ বার হইবে। অতএব দোলকের স্পন্দনকাল (অর্থাৎ অর্ধ-দোলনকাল) হইবে $t=\frac{86400}{86400-20}$ সেকেণ্ড। যদি ত্রুটিপূর্ণ দোলকের দৈর্ঘ্য l' হয় এবং সঠিক দোলকের দৈর্ঘ্য l হয় (যাহার স্পন্দনকাল=1 সেকেণ্ড) তাহা হইলে, $\frac{1}{t}=\sqrt{\frac{l}{l'}}$;

অথবা $\frac{86400-20}{86400}=\left(\frac{l'-x}{l'}\right)^{\frac{1}{2}}$ [দোলক যখন ধীরে চলিতেছে তখন উহার দোলনকাল কমাইতে উহার দৈর্ঘ্য l' হইতে x দ্বারা কমাইতে হইবে]। অতএব, $\left(1-\frac{2}{8640}\right)=\left(1-\frac{x}{l'}\right)^{\frac{1}{2}}$; অথবা $\frac{1}{4320}=\frac{x}{2l'}$; অথবা, $\frac{x}{l'}=\frac{1}{2160}$; অথবা, $x=\frac{l'}{2160}$। কিন্তু $\frac{86400}{86380}=\pi\sqrt{\frac{l'}{980}}$; অথবা, $\left(\frac{86400}{86380}\right)^2\times\frac{980}{\pi^2}=l'$;

অথবা, $l'=99.49$ cm. সুতরাং $x=\frac{99.49}{2160}=.0461$ cm.

7. একটি সেকেণ্ড-দোলকযুক্ত ঘড়িকে একস্থান হইতে অন্যস্থানে লইয়া গেলে ঘড়িটি দিনে 24 সেকেণ্ড ফাস্ট যায়। এই দুই স্থানের g-এর পার্থক্য কত হইবে, যদি প্রথম স্থানে ঘড়িটি ঠিক সময় দেয় এবং ঐ স্থানের g, 980 cm./sec.^{2} হয় ?

উঃ। প্রথম স্থানে যদি অভিকর্ষজাত ত্বরণ g হয় তাহা হইলে দ্বিতীয় স্থানে অভিকর্ষজাত ত্বরণ $(g+x)$ হইবে কারণ ঘড়ি 24 সেকেণ্ড ফাস্ট যাওয়ার হেতু g-এর বৃদ্ধি। অতএব,

$$1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\ ; \quad \frac{86400}{86424}=\sqrt{\frac{l}{g+x}}\text{। অথবা, } \frac{86400+24}{86400}=\left(1+\frac{x}{g}\right)^{\frac{1}{2}}$$

অথবা, $\frac{24}{86400}=\frac{x}{2g}$; অথবা, $x=\frac{48\times980}{86400}=.5445$cm./sec.^{2}।

8. কোন সেকেণ্ড-দোলকযুক্ত ঘড়ি গভীর খনির মধ্যে লইয়া গেলে ঘড়ি যে পরিমাণ স্লো যায়, উহাকে ঐ স্থানের পাহাড়ের উপরে লইয়া গেলে উহার দ্বিগুণ পরিমাণ স্লো যায়। প্রমাণ কর যে খনির গভীরতা পাহাড়ের উচ্চতার সমান।

উঃ। মনে কর পাহাড়ের উপরে, গভীর খনির মধ্যে এবং পৃষ্ঠে দোলকেরভূ

স্পন্দনকাল (অর্থাৎ অর্ধদোলনকাল) যথাক্রমে t_1, t_2 এবং t। যদি পাহাড়ের উচ্চতা h_1 হয়, খনির গভীরতা h_2 হয় এবং ঐ স্থানে পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R হয় তাহা হইলে,

$$\frac{t_1}{t}=\sqrt{\frac{g}{g_1}}=1+\frac{h_1}{R}\text{; অথবা, } \frac{t_1-t}{t}=\frac{h_1}{R}$$ [(7-19a) সমীকরণ দেখ]

আবার, $$\frac{t_2}{t}=\sqrt{\frac{g}{g_2}}=1+\frac{h_2}{2R}\text{; অথবা, } \frac{t_2-t}{t}=\frac{h_2}{2R}$$ [(7-19b) সমীকরণ দেখ]

$$\left[\because \sqrt{\frac{g}{g_2}}=\left(1-\frac{h_2}{R}\right)^{-\frac{1}{2}}=\left(1+\frac{h_2}{2R}\right)\right]$$

অতএব, $\frac{t_1-t}{t_2-t}=\frac{2h_1}{h_2}$। প্রশ্ন অনুযায়ী গভীর খনিতে ঘড়ি যতটা স্লো যাইবে, পাহাড়ের উপরে তাহার দ্বিগুণ স্লো যাইবে। অর্থাৎ, গভীর খনিতে স্পন্দনকাল যে পরিমাণ বাড়িবে, পাহাড়ের উপরে তাহার দ্বিগুণ বৃদ্ধি পাইবে। অতএব, (t_2-t) যদি x হয় তাহা হইলে (t_1-t) হইবে $2x$। সুতরাং, $\frac{2x}{x}=\frac{2h_1}{h_2}$

অথবা, $h_1=h_2$। অর্থাৎ, পাহাড়ের উচ্চতা (h_1) = খনির গভীরতা (h_2)।

9. একটি সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য 1% বৃদ্ধি করিলে ঐ দোলকযুক্ত ঘড়ি দিনে কত স্লো যাইবে? (C. U. 1953 ; C. U. 1951)।

উঃ। সেকেণ্ড দোলকের দৈর্ঘ্য যদি l হয় তাহা হইলে ঐ দৈর্ঘ্যের জন্য ঘড়ির স্পন্দনকাল 1 সেকেণ্ড হইবে। অতএব, $1=\pi\sqrt{l/g}$ ... ...(1)

যদি দোলকের দৈর্ঘ্য 1% বৃদ্ধি করা হয় তাহা হইলে উহার বর্তমান দৈর্ঘ্য হইবে $\frac{101l}{100}$। এখন যদি ঘড়ি দিনে n সেকেণ্ড স্লো যায় তাহা হইলে উহার স্পন্দনকাল হইবে $\frac{86400}{86400-n}$। অতএব, $$\frac{86400}{86400-n}=\sqrt{\frac{101l}{100g}} \quad \cdots \quad \cdots(2)$$

(1) ও (2) নং সমীকরণের অনুপাত লইলে আমরা পাই $$\frac{86400-n}{86400}=\sqrt{\frac{100}{101}}$$

অথবা, $$1-\frac{n}{86400}=\left(\frac{101-1}{101}\right)^{\frac{1}{2}}=1-\frac{1}{202}\text{; অথবা, } n=\frac{86400}{202}=427{\cdot}7$$

অতএব, ঘড়ি দিনে 427·7 সেকেণ্ড স্লো যাইবে।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 7]

1. নিম্নলিখিত উপাত্তগুলি হইতে পৃথিবীর গড় ঘনত্ব নির্ণয় কর। $G=6{\cdot}7\times10^{-8}$ c. g.s একক ; পৃথিবীর ব্যাসার্ধ $=R=6{\cdot}4\times10^{8}$ cm. ; $g=981$ cm./sec.^{2} (C. U. 1950, '63)

[**Ans.** 5·46 gms. /c.c.]

2. পৃথিবীকে যদি 6·37 মিলিয়ন মিটার ব্যাসার্ধের একটি নিরেট গোলক ধরা যায় এবং উহার গড় ঘনত্ব যদি 5·5 gms./c.c. লওয়া হয় তাহা হইলে ভূপৃষ্ঠে g-এর মান কত হইবে? $G=6{\cdot}7\times10^{-8}$ c.g. s. একক। (C. U. 1952) [**Ans.** $g=983{\cdot}5$ cm./sec.^{2}]

3. একটি 40 kg.-এর গোলক আর একটি 80 kg.-এর গোলককে (1/4) mg. ওজন দ্বারা আকর্ষণ করিতেছে, যখন গোলক দুইটির কেন্দ্রের মধ্যের দূরত্ব 30 cm.। G-এর মান কত হইবে?

[**Ans.** $G=6{\cdot}898\times10^{-8}$ c. g. s. একক]

4. 6 cm. এবং 40 cm. ব্যাসের দুইটি পিতলের (ঘনত্ব=8·4 gms/c.c.) গোলকের মধ্যে আকর্ষণ-বল কত হইবে যখন উহাদের কেন্দ্রের মধ্যের দূরত্ব 20 cm.। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ=R=4000 মাইল এবং এবং উহার গড় ঘনত্ব D=5·5 gms./c. c. এবং g=980 cm/sec.^{2}। [**Ans.** $4{\cdot}418\times10^{-2}$ ডাইন] .

[**সংকেত** : $g=\frac{4}{3}\pi RDG$ সমাকরণ হইতে G নির্ণয় করিতে হইবে)

5. নিম্নলিখিত উপাত্তগুলি হইতে, পৃথিবী হইতে চন্দ্রের দূরত্ব (d) নির্ণয় কর। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ R=4000 মাইল; উহার গড় ঘনত্ব D=5·5 gms /c.c.; $G=6{\cdot}6\times10^{-8}$ c. g. s. একক; চন্দ্রের আবর্তনকাল T=28 দিন। [$d=2{\cdot}434\times10^5$ মাইল]

6. একটি সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্য 100 cm. হইলে অপর একটি দোলকের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর যাহা এক মিনিটে 25টি পূর্ণ-দোলন সম্পন্ন করিতেছে। (H.S. 1961 Comp) [**Ans.** l=144 cm.]

7 .একটি সেকেণ্ড-দোলকের দৈর্ঘ্য 2·25 গুণ বৃদ্ধি করিলে উহার দোলন কাল কত হইবে?

(H. S. 1964) [**Ans.** T=3 সেকেণ্ড]

8. একটি সেকেণ্ড-দোলকযুক্ত ঘড়ি পাহাড়ের পাদদেশে সঠিক সময় দেয় যেখানে g=980 cm./sec.^{2}। পাহাড়ের উপরে ঐ ঘড়িটি যদি দিনে 20 সেকেণ্ড স্লো যায় তাহা হইলে পাহাড়ের উপরে g-এর মান কত হইবে? [**Ans.** $g'=979{\cdot}5$ cm./sec.^{2}]

9. একটি সেকেণ্ড-দোলকযুক্ত ঘড়ি পৃথিবীর উপর সঠিক সময় দেয় যেখানকার g=980 cm./sec.^{2} ঐ ঘড়িকে চাঁদে লইয়া গেলে যদি উহার দোলনকাল 4·5 সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে চাঁদে g-এর মান কত হইবে? [**Ans.** $g'=193{\cdot}6$ cm/sec^2.]

10. প্রমাণ কর যে 5 মাইল গভীরতার খনির মধ্যে অভিকর্ষজাত ত্বরণের মান, ভূপৃষ্ঠের উপরিস্থিত ত্বরণের মানের (799/800) হইবে।

সংকেত : (7-7d) সমীকরণ হইতে পাওয়া যায়, $g_2=g\left(1-\frac{h}{R}\right)=g(1-\frac{5}{4000})$ অথবা, $g_2=\frac{799}{800}\,g$ ।]

11. পৃথিবীর ব্যাসার্ধ=R=6·37 মিলিয়ন মিটার এবং উহার গড় ঘনত্ব=D=5·6 gms./c.c. হইলে ভূপৃষ্ঠে মহাকর্ষীয় বিভব (potential) কত হইবে? $G=6{\cdot}66\times10^{-8}$ c.g.s. একক। [$V=GM/R$] (Agra, 1940) [**Ans.** $V=6{\cdot}22\times10^{11}$ আর্গ/গ্রাম]

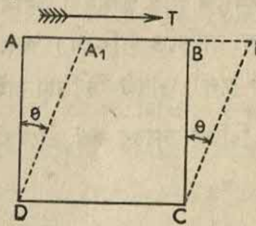
12. একটি সেকেণ্ড দোলকযুক্ত ঘড়ি বিষুবরেখায় সঠিক সময় দেয় কিন্তু উহাকে পৃথিবীর মেরুতে লইয়া গেলে উহা দিনে 5 মিনিট ফাষ্ট যায়। এই দুই স্থানের g-এর মান তুলনা কর। [**Ans.** যদি মেরুতে g-এর মান g_p হয় এবং বিষুবরেখায় g-এর মান g_e হয় তাহা হইলে $g_e/g_p=(864/867)^2$ $=\cdot9931$]

বস্তুর পদার্থের, **আয়তন-গুণাঙ্ক** $= K = \dfrac{\text{আয়তন-পীড়ন}}{\text{আয়তন-বিকৃতি}} = \dfrac{P}{v/V} = \dfrac{PV}{v}$

ডাইন/বর্গসেন্টিমিটারে ... (8-2*b*)

(*iii*) **দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক** (Rigidity—*n*) ঃ—কোন পদার্থের উপরতলের স্পর্শকের দিকে সমভাবে বল প্রয়োগ করিলে ঐ-তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর যে স্পর্শক-বল প্রযুক্ত থাকিবে তাহাকে **আকৃতি-পীড়ন** বলে এবং ঐ বল দ্বারা পদার্থের কৌণিক বিকৃতিকে **আয়তন-বিকৃতি** বলে। স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে আকৃতি-পীড়ন ও আকৃতি-বিকৃতির অনুপাতকে **দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক** বলে। অর্থাৎ, **দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক** $= n = \dfrac{\text{আকৃতি-পীড়ন}}{\text{আকৃতি-বিকৃতি}}$। ইহার একক স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের এককের অনুরূপ হইবে।

ব্যাখ্যা।—মনে কর $ABCD$ একটি ঘনকের উল্লম্ব প্রস্থচ্ছেদ (8.3 নং চিত্র)। ঘনকের নীচতলকে (DC) দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া উহার উপরতলের (AB) স্পর্শকের দিকে T পরিমাণ বল সমভাবে প্রয়োগ করিলে ঐ তলের একক ক্ষেত্রফলের স্পর্শকের দিকে যে বল ক্রিয়া করিবে তাহার পরিমাণ হইবে (T/S) এবং ইহাই বস্তুর **আকৃতি-পীড়ন** হইবে (এখানে S ঘনকের প্রত্যেক তলের ক্ষেত্রফল বুঝাইতেছে)। এই স্পর্শক-বলের প্রভাবে ঘনকের অবিকৃত উল্লম্বতলগুলি θ কোণ দ্বারা সরিয়া যাইবে যাহার ফলে ঘনকের উপরতলের সরণ হইবে AA_1 এবং নীচের স্থিরতলের সরণ হইবে শূন্য। পদার্থের **আকৃতি-বিকৃতি** = উল্লম্বতলগুলির কৌণিক সরণ $\theta = \dfrac{AA_1}{AD}$ = ঘনকের স্থিরতল হইতে একক উচ্চতায় অবস্থিত অনুভূমিক তলের সরণ।



চিত্র 8.3 ঃ দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক

পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে উহার বস্তুর,

দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক $= n = \dfrac{\text{আকৃতি-পীড়ন}}{\text{আকৃতি-বিকৃতি}} = \dfrac{T/S}{\theta}$ ডাইন প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে (8-2*c*)

অথবা, $n = \dfrac{T/S}{AA_1/AD}$ ডাইন প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে ... (8-2*c*′)

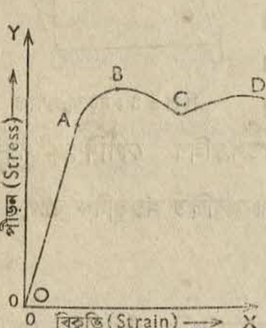
(iv) **পয়সনের অনুপাত** (Poisson's ratio—σ) ঃ—একটি বস্তুর কোনও একদিকে বল প্রয়োগ করিয়া যদি বলের দিকে বস্তুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ করানো হয় তাহা হইলে দেখা যায় যে ঐ দৈর্ঘ্য-প্রসারণের সমকোণের দিকে, বস্তুর দৈঘ্য-সংকোচন হয়। আরও দেখা গিয়াছে যে **বস্তুর পার্শ্ব-বিকৃতি এবং দৈর্ঘ্য-বিকৃতির অনুপাত**

একটি ধ্রুবক-সংখ্যা হয় যাহাকে বস্তুর পদার্থের পয়সনের অনুপাত (σ) বলে।

ব্যাখ্যা :—মনে কর কোন তারের দৈর্ঘ্য L এবং উহার ব্যাস D। তারের দৈর্ঘ্য বরাবর একটি বল প্রয়োগ করিয়া যদি উহার দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি l করানো হয় তাহা হইলে তারের **দৈর্ঘ্য-বিকৃতি** $=(l/L)$। তারের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধির ফলে যদি উহার ব্যাসের হ্রাসের পরিমাণ d হয় তাহা হইলে তারের **পার্শ্ব-বিকৃতি** $=d/D$। অতএব পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে, **পয়সনের অনুপাত** $=\sigma=\dfrac{\text{পার্শ্ব-বিকৃতি}}{\text{দৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}=\dfrac{d/D}{l/L}$ সংখ্যামাত্র। কোন পদার্থের পয়সনের অনুপাত সর্বদা $+\frac{1}{2}$ এবং -1 এর মধ্যে থাকে এবং ইহা একটি সংখ্যামাত্র উহার একক কিংবা ডাইমেনসন নাই।

8-3. সম-প্রস্থচ্ছেদযুক্ত তারের 'পীড়ন-বিকৃতি' লেখচিত্র (Stress-strain graph of a wire of uniform cross-section) : একটি লম্বা তারের উপরপ্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে আটকাইয়া উহার নীচপ্রান্তে ভার ঝুলাইয়া উহার পরিমাণ ক্রমশঃ বাড়াইতে থাকিলে তারের দৈর্ঘ্যও ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে। অবশেষে একটি বিশিষ্ট ভারের জন্য (যাহাকে তারের অসহ-ভার বলে) তারটি ছিঁড়িয়া যাইবে।

বিভিন্ন ভারের জন্য তারের পীড়ন এবং অনুরূপ বিকৃতি নির্ণয় করিয়া, পীড়নকে y-অক্ষের দিকে এবং বিকৃতিকে x-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র আঁকিলে তাহার প্রকৃতি 8.4নং চিত্রে প্রদর্শিত লেখচিত্রের অনুরূপ হইবে। এই লেখচিত্রের সাহায্যে পদার্থের কয়েকটি বিশিষ্ট স্থিতিস্থাপক ধর্ম অনুধাবন করা যায় [8.4নং চিত্র]।



চিত্র 8.4 : পীড়ন-বিকৃতি লেখ

লেখচিত্রের আলোচনা :—(i) লেখচিত্রটি মূলবিন্দুর (0,0) মধ্য দিয়া যাইতেছে। কাজেই পদার্থের পীড়ন যখন শূন্য হইবে উহার বিকৃতিও তখন শূন্য হইবে।

(ii) লেখচিত্রের মূলবিন্দু (0, 0) হইতে A বিন্দু পর্যন্ত একটি সরলরেখা পাওয়া যাইতেছে। ইহা দ্বারা বোঝা যাইতেছে যে এই অংশের বিকৃতি পীড়নের সমানুপাতিক। তারের পীড়ন এই অংশের মধ্যে থাকিলে পদার্থটি হুকের সূত্র মানিয়া চলিবে।

(iii) এই সরলরেখার প্রান্তবিন্দু A-এর কোটি যে পীড়ন নির্দেশ করিবে তাহার জন্য তারের যে বিকৃতি হইবে তাহা পুনরুদ্ধারযোগ্য। অর্থাৎ, A বিন্দুর জন্য পদার্থের যে পীড়ন হইবে তাহাকে শূন্যে আনিলে তারের বিকৃতিও শূন্যে আসিবে। এজন্য A বিন্দুর কোটি যে পীড়ন নির্দেশ করিতেছে তাহা ঐ তারের **স্থিতিস্থাপক সীমা** হইবে।

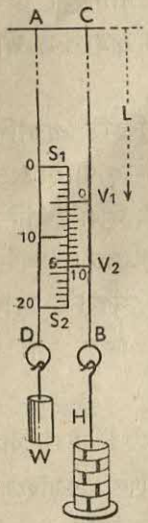
(iv) লেখচিত্রের AB অংশের দ্বারা তারের যে পীড়ন ও বিকৃতি প্রকাশিত হইতেছে তাহা একটি বক্ররেখা, যাহার অবতল তল বিকৃতি অক্ষের দিকে থাকিতেছে। ইহা দ্বারা বোঝা যাইতেছে যে তারের পীড়ন স্থিতিস্থাপক সীমার ঊর্ধ্বে আনিলে উহার বিকৃতি সমানুপাতে না বাড়িয়া বেশী পরিমাণে বাড়িতেছে। অর্থাৎ, লেখচিত্রের A বিন্দুর পর হুকের সূত্র আর খাটিতেছে না। এই অবস্থায় তারের পীড়ন শূন্য করিলেও বিকৃতি শূন্য না হইয়া কিছুটা স্থায়ী হইতেছে। এজন্য বলা হয় যে তার একটি **স্থায়ী-অবস্থা** (permanent set) অর্জন করিয়াছে।

(v) লেখচিত্রের BC অংশ নীচের দিকে বাঁকিয়া আসিয়াছে। ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে B বিন্দুর জন্য যে পীড়ন হইবে তাহা কিঞ্চিৎ কমাইলেও তারের বিকৃতি হইতে থাকিবে। এই B বিন্দুকে তারের **নতি-বিন্দু** (yield point) বলে।

(vi) নতিবিন্দুর (B) পর তারটি সরু হইতে থাকে যাহা তারের বিভিন্ন বিন্দুতে বিভিন্ন হয়। লেখচিত্রের C বিন্দুর পর তারের আরও বিকৃতি ঘটাইতে আরও পীড়নের প্রয়োজন হয় (যদিও হুকের সূত্র অনুযায়ী নয়)। লেখচিত্রের D বিন্দুর কোটি যে পীড়ন নির্দেশ করিতেছে তাহা তারের পক্ষে সর্বোচ্চ পীড়ন যাহার উপরে তার আর পীড়ন সহ্য করিতে পারে না। এই পীড়নের পর তারটি যে কোন একটি বিন্দুতে ছিঁড়িয়া যায়। লেখচিত্রের D বিন্দুর দ্বারা প্রকাশিত পীড়নকে **অসহপীড়ন** (breaking stress) বলে এবং উহার অনুরূপ বিকৃতিকে **অসহ-বিকৃতি** (breaking strain) বলে।

8-4. হুকের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ অথবা কোন পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় (Experimental verification of Hooke's law or determination of Young's modulus of a material): **যন্ত্রের বিবরণ :**—ইহাতে একই পদার্থের এবং একই ব্যাসের দুইটি লম্বা (প্রায় 2 মিটার লম্বা) তার (AD ও CB) আছে যাহাদের উপর প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে (AC) বাঁধা আছে। তুলনামূলক তারের (AD) মুক্ত প্রান্তে (D) একটি ভার W বাঁধিয়া উহাকে সোজা রাখা হইয়াছে। পরীক্ষামূলক তারের

(CB) মুক্ত প্রান্তে (B) কিছু ভারসহ একটি আংটা H বাঁধা আছে যাহা দ্বারা এই তারকেও সোজা রাখা যায়। AD ও CB তার দুইটির নিম্নাংশে যথাক্রমে মিলিমিটার স্কেল (S_1S_2) এবং ভার্নিয়ার (V_1V_2) পাশাপাশি বাঁধা আছে যাহাদের সাহায্যে পরীক্ষামূলক তারের (CB) প্রসারণ নির্ণয় করা যায় (8.5 নং চিত্র)। CB তারের মুক্ত প্রান্তে (B) বাঁধা আংটার উপর যে প্রাথমিক ভার রাখা হয় (যাহাকে dead load বলে) তাহা পরীক্ষাকালে স্থির থাকে।



চিত্র 8.5 : ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয়ের যন্ত্র

নীতি :—যদি L cm দৈর্ঘ্যের এবং d cm ব্যাসের পরীক্ষামূলক তারের (CB) আংটার উপর আরও অতিরিক্ত M গ্রামভার চাপাইয়া উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি l cm করা হয় তাহা হইলে তারের অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন হইবে $\frac{Mg}{\pi d^2/4}$ এবং অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি হইবে l/L। পীড়ন স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে থাকিলে ইয়ং গুণাঙ্ক

$$Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}} = \frac{Mg}{\pi d^2/4} \times \frac{L}{l} = \frac{4Lg}{\pi d^2}\left(\frac{M}{l}\right) \quad (8\text{-}4a)$$

(8-4a) সমীকরণের সাহায্যে Y নির্ণয় করা হয়।

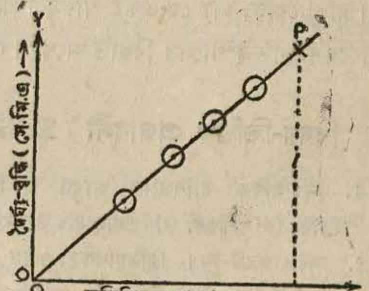
পরীক্ষা :—(i) পরীক্ষামূলক তারের (CB) বিলম্ব বিন্দু (C) হইতে উহার নিম্নাংশে বাঁধা ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ পর্যন্ত দৈর্ঘ্য L একটি স্কেল দ্বারা মাপিয়া লওয়া হইল। একটি স্ক্রু-গেজের সাহায্যে CB তারের ব্যাস বিভিন্ন স্থানে (এবং প্রত্যেক স্থানে দুইটি লম্বের দিকে) মাপিয়া তাহাদের গড় মান d নির্ণয় করা হইল।

(ii) তারের পদার্থের অসহ পীড়নের মান T জানিয়া লইয়া তাহাকে তারের প্রস্থচ্ছেদ ($\pi d^2/4$) দ্বারা গুণ করিলে তারের অসহভারের মান $= T \times (\pi d^2/4)$ পাওয়া যাইবে। অতএব CB তারের আংটার উপর যে মোট ভার (=প্রাথমিক ভার+অতিরিক্ত ভার) থাকিবে তাহার পরিমাণ অসহভারের অর্ধেকেরও কম রাখিতে হইবে যাহাতে ঐ ভার তারের স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে থাকিতে পারে। এইভাবে CB তারের আংটার উপর ভার চাপাইবার উচ্চ সীমা (limiting load) স্থির করা হইল।

(iii) CB তারের আংটার (H) উপর যখন কেবলমাত্র প্রাথমিক ভার ছিল তখন স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ R_0 লওয়া হইল। এক্ষণে ঐ আংটার উপর আরও অতিরিক্ত ভার ধাপে ধাপে এক কিলোগ্রাম (কিংবা অর্ধ কিলোগ্রাম) করিয়া

বাড়ানো হইল যতক্ষণ না ভারের (প্রাথমিক ভার+অতিরিক্ত ভার) উচ্চসীমা অবধি পৌঁছায়। প্রতিটি ধাপের জন্য স্কেল (S_1S_2) ও ভার্নিয়ারের (V_1V_2) পাঠ লওয়া হইল। এইবার আংটার উপরিস্থিত অতিরিক্ত ভারের পরিমাণ ধাপে ধাপে এক কিলোগ্রাম (কিংবা অর্ধ কিলোগ্রাম) করিয়া কমাইয়া প্রাথমিক ভার পর্যন্ত পৌঁছান গেল। এবারও প্রত্যেক ধাপের জন্য স্কেল ও ভার্নিয়ারের পাঠ লওয়া হইল। অতিরিক্ত ভারের প্রত্যেক ধাপের জন্য যে দুইটি পাঠ (একবার ভার বাড়ানোর সময় আর একবার ভার কমানোর সময়) পাওয়া গেল তাহাদের গড় পাঠ হইতে, প্রাথমিক ভারের জন্য যে পাঠ R_0 পাওয়া গিয়াছিল, তাহা বিয়োগ করিলে প্রতিটি ধাপের ভারের জন্য তারের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি পাওয়া যাইবে।

(iv) একটি ছক কাগজের মূলবিন্দু O (0, 0) লইয়া উহার x-অক্ষের দিকে অতিরিক্ত ভার (M) এবং y-অক্ষের দিকে ঐ ভারের অনুরূপ তারের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি (l) প্রকাশ করিয়া লেখচিত্র অঙ্কন করিলে দেখা যাইবে যে উহা একটি সরলরেখা (OP) হইতেছে যাহা মূলবিন্দুর (0, 0) মধ্য দিয়া যাইতেছে। অর্থাৎ, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে তারের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ভারের সমানুপাতিক হইতেছে। ইহা দ্বারা হুকের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল [8.6নং চিত্র]।



চিত্র 8,6 : ভার-দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি লেখ

(v) এই লেখ চিত্রের উপর যে কোন একটি বিন্দু (P) লইয়া তাহার ভুজ (M) এবং কোটির ($=l$) পরিমাণ চিত্র হইতে বাহির করা হইল। যদি ভুজ, অতিরিক্ত ভার M গ্রাম নির্দেশ করে এবং কোটি তারের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি l cm. নির্দেশ করে তাহা হইলে তারের দৈর্ঘ্য L cm এবং ব্যাসের পরিমাণ d cm সহ M ও l-এর মান (8-4a) সমীকরণে বসাইলে তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্কের (Y) মান ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে পাওয়া যাইবে।

8-5. (a) স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক ও ইয়ং-গুণাঙ্কের মধ্যে পার্থক্য : স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে যে কোন প্রকার পীড়ন এবং তাহার অনুরূপ বিকৃতির অনুপাতকে স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক বলে। পদার্থের বিকৃতি কি প্রকারের হইবে তাহা উহার উপর প্রযুক্ত পীড়নের প্রকৃতির উপর নির্ভর করিবে। যেমন, কোন তারের দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ঘটাইতে হইলে উহার যেরূপ পীড়নের প্রয়োজন তাহাকে অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন বলে। তারের অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন এবং অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতির

অনুপাতকে তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক বলে কিংবা দৈর্ঘ্য-গুণাঙ্কও বলা যাইতে পারে। সেইরূপ, আয়তন-পীড়ন ও আয়তন-বিকৃতির অনুপাতকে আয়তন-গুণাঙ্ক বলা হয় এবং আকৃতি-পীড়ন ও আকৃতি-বিকৃতির অনুপাতকে দৃঢ়তা-গুণাঙ্ক বলা হয়। এই তিন প্রকার গুণাঙ্কের সাধারণ নাম হইতেছে স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক। কিন্তু ইয়ং-গুণাঙ্ক কেবলমাত্র অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতির অনুপাতমাত্র যাহা তিনপ্রকার স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের বিশেষ একটির নাম।

(*b*) **স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের মান** : বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্কের মান বিভিন্ন হয়। স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক $= \frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$। কাজেই বিভিন্ন পদার্থের উপর প্রযুক্ত পীড়নের পরিমাণ সমান রাখিলে যে পদার্থের বিকৃতি বেশী হইবে তাহার স্থিতিস্থাপকতা কম হইবে। যেমন, রবার অপেক্ষা ইস্পাত বেশী স্থিতিস্থাপক। ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে একই পরিমাণ পীড়ন ঐ দুই বস্তুর উপর প্রযুক্ত থাকিলে, রবারের বিকৃতি ইস্পাতের বিকৃতি অপেক্ষা বেশী হইবে।

বিষয়-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 8]

1. নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর :—(*a*) স্থিতিস্থাপকতা, (*b*) স্থিতিস্থাপক-সীমা, (*c*) বিকৃতি, (*d*) পীড়ন, (*e*) অসহ-ভার ও অসহ-পীড়ন। [Art. 8-1]

2. হুকের সূত্রটি বল। স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক বলিতে কি বোঝ? ইহার একক কি হইবে?

3. স্থিতিস্থাপক-ধ্রুবক বলিতে কি বোঝায়? স্থিতিস্থাপক-ধ্রুবকগুলির নাম বল এবং উহাদের ব্যাখ্যা কর। [Art. 8-2]

4. সমপ্রস্থচ্ছেদযুক্ত একটি তারের 'পীড়ন-বিকৃতি' লেখচিত্র অঙ্কন করিয়া ঐ লেখচিত্র হইতে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি বুঝাইয়া দাও :—(*i*) স্থিতিস্থাপক সীমা, (*ii*) স্থায়ী-অবস্থা (permanent set), (*iii*) নতিবিন্দু (yield point), (*iv*) অসহ-পীড়ন। [Art. 8-3]

5. হুকের সূত্র প্রমাণ করিবার একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। এই পরীক্ষা দ্বারা কোন তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যাইবে কি? [Art. 8-4]

7. স্থিতিস্থাপকতা-গুণাঙ্ক ও ইয়ং-গুণাঙ্কের মধ্যে কি পার্থক্য? রবার অপেক্ষা স্টীল বেশী স্থিতিস্থাপক – ইহা দ্বারা কি বুঝ? [Art. 8-5]

বাস্তব-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 8]

A. Multiple Choice type : (1) কোন পদার্থের স্থিতিস্থাপক সীমা বলিতে কি বুঝ?— বস্তুকে ভাঙ্গিয়া ফেলিবার জন্য যে ভার প্রয়োজন তাহাকে স্থিতিস্থাপক সীমা বলে ; বস্তুকে ভাঙ্গিয়া ফেলিবার জন্য যে ভার প্রয়োজন তাহার অর্ধেকের কিছু কম ভার স্থিতিস্থাপক সীমা হইবে ; বস্তুর পদার্থের অসহ-পীড়নের অর্ধেক হইবে স্থিতিস্থাপক সীমা। (2) রবার ও স্টীলের কোনটি বেশী স্থিতিস্থাপক?— স্টীল, উভয়েই সমান স্থিতিস্থাপক।

B. Recall type : (1) বিকৃতি সৃষ্টিকারী—যে সীমার মধ্যে থাকিলে—পীড়নের সমানুপাতিক হয় সেই পীড়নকে—সীমা বলে। (2) কোন পদার্থের যে কোন প্রকার পীড়ন ও তাহার অনুরূপ বিকৃতির অনুপাতকে—বলে, কিন্তু পদার্থের—পীড়ন ও অনুদৈর্ঘ্য—অনুপাতকে—বলে।

C. True or False type : (1) বিকৃতি ও পীড়নের অনুপাতকে স্থিতিস্থাপক-গুণাঙ্ক বলে। (2) পীড়নের একক এবং স্থিতিস্থাপক-গুণাঙ্কের একক একই হইবে।

কষা-অঙ্ক (Worked out Sums) [অধ্যায় 8]

1. একটি সমব্যাসসম্পন্ন ষ্টীলের তারের দৈর্ঘ্য 250 cm., ভর 16 গ্রাম এবং ঘনত্ব 7·8 গ্রাম প্রতি সি.সি.-তে। ইহার 1·2 mm. দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি করিতে যদি 8 কিলোগ্রাম ভারের প্রয়োজন হয় তাহা হইলে উহার ইয়ং-গুণাঙ্ক কত হইবে?

উঃ। ভর = প্রস্থচ্ছেদ × দৈর্ঘ্য × ঘনত্ব। অতএব, তারের প্রস্থচ্ছেদ $=\alpha = \frac{16}{250\times 7{\cdot}8}$ sq. cm.। ইয়ং-গুণাঙ্ক $= Y = \frac{Mg}{\alpha}\times\frac{L}{l} = \frac{8\times 1000\times 980}{16/(250\times 7{\cdot}8)} \times \frac{250}{{\cdot}12} = 1{\cdot}993\times 10^{12}$ ডাইন/বর্গ. সে. মি.।

2. একটি 10 মিটার লম্বা তারের, দৈর্ঘ্য-বিকৃতি ·001% হইলে তারটির দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি কত হইবে? তারটির প্রস্থচ্ছেদ 2 বর্গ মিলিমিটার হইলে উহার অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন কত হইবে যখন উহাকে এক কিলোগ্রাম ভার দ্বারা টানা হইতেছে? (H.S. 1966)

উঃ। 10 মিটার তারের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি যদি x cm. হয় তাহা হইলে উহার শতকরা দৈর্ঘ্যবিকৃতি হইবে $\frac{x\times 100}{10\times 100} = {\cdot}001$; অথবা, $x = {\cdot}01$ cm.। অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন $= \frac{\text{ভার}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ}} = \frac{1000\times 980}{2/100} = 49\times 10^6$ ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে।

3. এক বর্গ-মিলিমিটার তারের নীচে 20 kg. ভার ঝুলাইয়া দিলে উহার দৈর্ঘ্য 600·5 cm. পাওয়া যায়। ভারটি সরাইয়া লইলে তারের দৈর্ঘ্য 5 mm. দ্বারা কমিয়া যায়। তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। (C.U. 1938)

উঃ। তারের ভারশূন্য অবস্থার দৈর্ঘ্য $600{\cdot}5 - {\cdot}5 = 600$ cm. $= L$। তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি $= l = {\cdot}5$ cm.। তারের প্রস্থচ্ছেদ $= \alpha = {\cdot}01$ বর্গসেন্টিমিটার। তারের নীচে ভারের পরিমাণ $= Mg = 20\times 1000\times 980$ ডাইন। অতএব, ইয়ং-গুণাঙ্ক $Y = \frac{Mg}{\alpha}\times\frac{L}{l}$। অথবা, $Y = \frac{20\times 1000\times 980}{{\cdot}01}\times\frac{600}{{\cdot}5} = 2{\cdot}35\times 10^{12}$ ডাইন/বর্গ-সেন্টিমিটার।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 8]

1. দুই মিটার দৈর্ঘ্যের এবং ·55 *mm.* ব্যাসের একটি তারের উপরপ্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে বাঁধিয়া নীচপ্রান্তে 5 kg. ভার ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। যদি তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 2·31 *mm.* হয়, তাহা হইলে উহার ইয়ং-গুণাঙ্ক কত হইবে? [**Ans.** $Y=17{\cdot}87\times10^{11}$ ডাইন/বর্গ-সে.মি.]

[সমস্ত দৈর্ঘ্যকে *cm.* এ এবং ভারকে গ্রামে আনিয়া সূত্রে বসাইতে হইবে]

2. একটি 628 *cm.* দৈর্ঘ্যের এবং 2 *mm.* ব্যাসের তারের 1 *mm.* দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করিতে কত কিলোগ্রাম-ভার প্রয়োজন হইবে? তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক $=2\times10^{12}$ ডাইন প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে। (H. S. 1960) [**Ans.** 10·21 কিলোগ্রাম]

3. এক বর্গ-সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদের তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করিতে কত ডাইন বল প্রয়োগ করিতে হইবে? তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক $Y=2\times10^{12}$ ডাইন প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে। [**Ans.** 2×10^{12} ডাইন]

4. 10 মিটার লম্বা এবং এক বর্গমিলিমিটার প্রস্থচ্ছেদের একটি তারের নীচে 10 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দেওয়া আছে। তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক 18×10^{8} গ্রাম-ভার প্রতি বর্গসেন্টিমিটারে হইলে উহার দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কত হইবে? (C. U. 1910) [**Ans.** ·55 *cm.*]

5. একটি 2 *mm.* ব্যাসের তারের উষ্ণতা 20°C-এ রাখিয়া উহাকে উহার দুই-প্রান্তে আটকাইয়া রাখা হইল। তারের উষ্ণতা 10°C-এ নামিলে উহার টান কত হইবে? তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক $2{\cdot}1\times10^{12}$ ডাইন প্রতিবর্গ-সেন্টিমিটারে এবং দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=11\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

[**Ans.** টান $T=7{\cdot}257\times10^{6}$ ডাইন]

সংকেত : [তারের প্রাথমিক দৈর্ঘ্য L *cm.* হইলে উহার উষ্ণতা 10°C কমিয়া যাওয়ায় দৈর্ঘ্য-সংকোচন হইবে $l=L\times11\times10^{-6}\times10=L\times11\times10^{-5}$ *cm.*। তারের টান T ডাইন হইলে,

অনুদৈর্ঘ্যপীড়ন $=\frac{T\times4}{\pi d^2}=\frac{4T}{\pi({\cdot}2)^2}$ ডাইন/বর্গ-সেন্টিমিটার। কিন্তু ইয়ং-গুণাঙ্ক $Y=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য-পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}}$;

অথবা, $Y=\frac{4T}{\pi({\cdot}2)^2}\times\frac{L}{L\times11\times10^{-5}}=\frac{4T}{\pi({\cdot}2)^2\times11\times10^{-5}}$

অথবা, $T=\frac{Y\times\pi({\cdot}2)^2\times11\times10^{-5}}{4}=\frac{2{\cdot}1\times10^{12}\pi\times{\cdot}04\times11\times10^{-5}}{4}=7{\cdot}257\times10^{6}$ ডাইন]

6. একটি 5 মিটার লম্বা তারের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি কত হইবে যখন উহার বিকৃতি (1 এর ·1)%। যদি তারটির প্রস্থচ্ছেদ 1 বর্গমিলিমিটার হয় এবং উহাকে 10 কিলোগ্রাম ভার দ্বারা টানা হয় তাহা হইলে উহার পীড়ন কত হইবে? [**Ans.** দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি = ·5 *cm.*, পীড়ন $=9{\cdot}8\times10^{8}$ ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে]

সংকেত : [বিকৃতি (1এর ·1) % = ·1%। অতএব 100 *cm.*-এ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি ·1 *cm.* হইবে, কাজেই 500 *cm.*-এ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইবে ·5 *cm.*]

7. একটি তামার তারের প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদের উপর যখন এক কিলোগ্রাম ভার চাপানো হয় তখন উহার এক মিলিয়ন দৈর্ঘ্যের জন্য একক দৈর্ঘ্য প্রসারিত হয়। তামার তারের ইয়ং-গুণাঙ্ক কত হইবে? একটি 10 মিটার দৈর্ঘ্যের এবং 3 *cm.* ব্যাসের তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি কত হইবে যখন উহাকে 1000 কিলোগ্রাম-ভার দ্বারা টানা হয়?

[**Ans.** $Y=9{\cdot}8\times10^{11}$ ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে ; $l=1{\cdot}415$ *mm.*]

8. এক কিলোগ্রাম ভার দ্বারা 1 *mm.* ব্যাসের তারকে টানিলে উহার দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হয় ·5 *mm.*। একই দৈর্ঘ্যের এবং একই পদার্থের কিন্তু দ্বিগুণ ব্যাসের তারকে 6 kg.wt. দ্বারা টানিলে কত দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হইবে? (Burdwan, 1946) [**Ans.** $l={\cdot}75$ *mm.*]

9. কত কিলোগ্রাম ভার দ্বারা '48 *mm.* ব্যাসের একটি তারকে টানিলে উহার দৈর্ঘ্য পূর্বের দৈর্ঘ্যের তিনগুণ করা যাইবে? তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক $=16{\cdot}2\times10^{11}$ ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে। [**Ans** 5982 kg.-wt]

10. প্রতি সেন্টিমিটারে '5 গ্রাম ভরযুক্ত 10 মিটার লম্বা তারের প্রান্তে 2 কিলোগ্রাম ভার ঝুলাইয়া দিলে উহার দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি কত হইবে? তারের পদার্থের ইয়ং-গুণাঙ্ক $=12\times10^{11}$ ডাইন প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে; ঘনত্ব $=8{\cdot}9$ গ্রাম প্রতি সি. সি-তে এবং $g=980$ সে.. মি./সেকেণ্ড^2। [**Ans.** '2907 *mm.*]

11. এক লিটার তরলের প্রতি বর্গসেন্টিমিটারের উপর 10 কিলোগ্রাম-ভার চাপ প্রয়োগ করিলে উহার আয়তন '245 সি. সি. দ্বারা কমিয়া যায়, তরলের আয়তন-গুণাঙ্ক কত হইবে?

[**Ans.** 4×10^{10} ডাইন/বর্গ-সে.মি.]

12. কোন তারের পদার্থের অসহ-পীড়ন 3000 কিলোগ্রাম প্রতি বর্গ-সেন্টিমিটারে হইলে ঐ একই পদার্থের অপর একটি তারের ব্যাস কত হইবে যাহার অসহ-ভার 50 কিলোগ্রাম? [**Ans.** '2121 *mm.*]

13. বিভিন্ন পদার্থে তৈরী দুইটি একই দৈর্ঘ্যের তারকে একই পরিমাণ বল দ্বারা টানা হইল। প্রথম তারটির ব্যাস 2 *mm.* এবং দ্বিতীয় তারের ব্যাস 3 *mm.*। প্রথম তারটির যে দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইবে দ্বিতীয় তারটির তাহার দ্বিগুণ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইলে উহাদের ইয়ং-গুণাঙ্কের অনুপাত কত হইবে?

[**Ans.** $Y_1/Y_2=9:2$]

উদস্থিতি-বিদ্যা (Hydrostatics)

অধ্যায় 9

ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব ঃ আর্কিমিডিসের সূত্র ও ভাসন

[Density and specific gravity : Archimedes' principle and Floatation]

9-1. উদস্থিতি-বিদ্যা (Hydrostatics) ঃ উদস্থিতি-বিদ্যা পদার্থ-বিদ্যারই একটি অংশ। এই অংশে কোন ফ্লুয়িডের (তরল এবং গ্যাস যাহারা প্রবাহিত হইতে পারে তাহাদিগকে **ফ্লুয়িড** বলে) স্থির বা সাম্য অবস্থা আলোচিত হয়। কোন ফ্লুয়িড যখন সাম্য অবস্থায় থাকে তখন উহার উপর প্রযুক্ত বাহ্যিক বল, ফ্লুয়িডের মধ্যে সৃষ্ট সমান এবং বিপরীতমুখী বল দ্বারা নিষ্ক্রিয় হয়। আমাদের আলোচ্য ফ্লুয়িড আদর্শ হইবে। যে তরলের নির্দিষ্ট আয়তন থাকিবে কিন্তু নির্দিষ্ট আকার থাকিবে না, যাহার সংনম্যতা (compressibility) ও সান্দ্রতা (viscosity) থাকিবে না তাহাকেই **আদর্শ-তরল** বলা হয়। আবার যে গ্যাসীয় পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন ও আকার থাকিবে না এবং যাহা বয়েল ও চার্লসের সূত্র মানিয়া চলিবে তাহাকে **আদর্শ-গ্যাস** বলে। উদস্থিতি বিদ্যায় আমরা প্রথমে আদর্শ তরল এবং পরে আদর্শ গ্যাস সমন্ধে আলোচনা করিব।

9-2. পদার্থের ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্ব (Density and specific gravity of a substance) ঃ একই আয়তনের বিভিন্ন পদার্থ লইলে দেখা যায় যে, কোন পদার্থের ভার খুব বেশী আবার কোন পদার্থের ভার খুব কম। যেমন, একই আয়তন জল ও পারদ লইলে, পারদ জল অপেক্ষা প্রায় সাড়ে তের গুণ ভারী হয়। পদার্থের ভারী কিংবা হাল্‌কা অবস্থা বুঝাইবার জন্য ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব রাশি দুইটি ব্যবহৃত হয় যাহাদের সংজ্ঞা, পার্থক্য, প্রভৃতি নীচে দেওয়া হইল।

সংজ্ঞা :—(i) কোন পদার্থের একক আয়তনের ভরকে ঐ পদার্থের ঘনত্ব (density) বলে।

যদি V আয়তন পদার্থের ভর M হয় তাহা হইলে ঐ পদার্থের ঘনত্ব হইবে $\rho = (M/V)$। **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে** ভরের একক গ্রাম এবং আয়তনের একক সি. সি.। কাজেই ঘনত্বের একক হইবে '**গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে**'। এফ্. পি.

এস্. পদ্ধতিতে ভরের এককের নাম পাউণ্ড এবং আয়তনের একক কিউবিক ফুট। কাজেই ঘনত্বের একক হইবে **'পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে'**। **যথা**.—জলের ঘনত্ব, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে 'এক গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে' এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে '62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে'।

(ii) **কোন পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তনের ভরের সহিত (বা ওজনের সহিত) উহার সমআয়তনের কোন মান পদার্থের** (standard substance) **ভরের (বা ওজনের) অনুপাতকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব (বা ঘনত্ব) বলে।**

আপেক্ষিক গুরুত্ব দুইটি সমরাশির অনুপাত হওয়ায় উহার কোন একক নাই, উহা সংখ্যা মাত্র। কঠিন এবং তরল পদার্থের ক্ষেত্রে 4°C উষ্ণতার জলকে মান পদার্থ ধরা হয় এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে 0°C উষ্ণতায় এবং 76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপের বিশুদ্ধ হাইড্রোজেন গ্যাসকে মান পদার্থ ধরা হয়। কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্বের মান, সি. জি.এস্. এবং এফ্. পি.এস্. পদ্ধতিদ্বয়ে একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয়। যথা পারদের আপেক্ষিক গুরুত্বের মান দুই পদ্ধতিতেই 13·6।

আপেক্ষিক গুরুত্ব ও ঘনত্বের মধ্যে সম্বন্ধ :—মনে কর v আয়তনের নির্দিষ্ট পদার্থ ও মান পদার্থ লওয়া হইল যাহাদের ঘনত্ব যথাক্রমে ρ ও ρ'। কাজেই v আয়তন নির্দিষ্ট পদার্থের ওজন $= v\rho g$ এবং সমআয়তন মান পদার্থের ওজন $= v\rho' g$। আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা অনুযায়ী পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব হইবে,

$$s=\frac{v\rho g}{v\rho' g}=\frac{\rho}{\rho'}=\frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{মান পদার্থের ঘনত্ব}} \quad \cdots \quad (9\text{-}2a)$$

(9-2a) সমীকরণ হইতে বোঝা যাইতেছে যে পদার্থের ঘনত্বের ($=\rho$) সহিত মান পদার্থের ঘনত্বের ($=\rho'$) তুলনা করিলেই পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব s পাওয়া যাইবে। এই কারণে **আপেক্ষিক গুরুত্বকে আপেক্ষিক ঘনত্বও বলে।**

সুতরাং পদার্থের ঘনত্ব $\rho = s \times \rho' =$ (আ. গু.) $\times$ মান পদার্থের ঘনত্ব।

যদি মান পদার্থ 4°C উষ্ণতার জল হয় তাহা হইলে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে $\rho' =$ 1 গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে $\rho' = 62{\cdot}5$ পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুটে। কাজেই (i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে,** আপেক্ষিক গুরুত্বের সংখ্যার পাশে 'গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে' বসাইলে উহা পদার্থের ঘনত্ব হইবে এবং (ii) **এফ. পি. এস্. পদ্ধতিতে,** আপেক্ষিক গুরুত্বের সংখ্যাকে 62·5 দ্বারা গুণ করিয়া ঐ গুণফলের পাশে 'পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে' বসাইলে ঐ পদার্থের ঘনত্ব হইবে।

9-3. তরল ও কঠিনের আপেক্ষিক গুরুত্বের উষ্ণতা-সংশোধন (Temperature correction of specific gravities of liquids and solids) ঃ কঠিন ও তরলের আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞায় বলা হইয়াছে যে, উহা নির্দিষ্ট আয়তনের কঠিন কিংবা তরলের ওজন এবং উহার সমআয়তন 4°C উষ্ণতার জলের ওজনের অনুপাত মাত্র। কিন্তু পরীক্ষাগারে আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয় করিতে যে জল ব্যবহৃত হয় তাহা ঘরের উষ্ণতায় (t°C) থাকে, 4°C উষ্ণতায় নয়। এজন্য ঘরের উষ্ণতার জলের তুলনায় পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব নির্ণয়ে কিছু ত্রুটি থাকিয়া যায় যাহার সংশোধন নিম্নলিখিতভাবে করা হয়।

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব (আ. গু.)} = s = \frac{v \text{ আয়তন পদার্থের ওজন}}{v \text{ আয়তন } 4^\circ\text{C উষ্ণতার জলের ওজন}};$$

$$\text{অথবা, } s = \frac{v \text{ আয়তন পদার্থের ওজন}}{v \text{ আয়তন } t^\circ\text{C উষ্ণতার জলের ওজন}} \times \frac{v \text{ আয়তন } t^\circ\text{C উষ্ণতার জলের ওজন}}{v \text{ আয়তন } 4^\circ\text{C উষ্ণতার জলের ওজন}}$$

$$\text{অথবা, } s = s_1 \times \rho_t \quad \cdots \quad \cdots \quad (9\text{-}3a)$$

এখানে s_1 = ঘরের উষ্ণতার ($=t$°C) জলের তুলনায় নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব এবং ρ_t = ঘরের উষ্ণতার (t°C) জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব = সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে t°C উষ্ণতার জলের ঘনত্ব-সংখ্যা, যাহা বিভিন্ন তাপমাত্রায় জলের ঘনত্বের তালিকা হইতে পাওয়া যাইবে। সুতরাং, **কোন পদার্থের প্রকৃত আপেক্ষিক গুরুত্ব = t°C উষ্ণতার জলের তুলনায় নির্ণীত আপেক্ষিক গুরুত্ব × t°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব-সংখ্যা।**

9-4. আর্কিমিডিসের সূত্র ও তাহার প্রমাণ (Archimedes' principle and its verification) ঃ

আর্কিমিডিসের সূত্র ঃ কোন বস্তুকে স্থির ফ্লুয়িডের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে কিংবা আংশিকভাবে নিমজ্জিত রাখিলে উহার ওজন কিছুটা কম হইয়াছে বলিয়া মনে হয় এবং এই আপাত ওজন-হ্রাস বস্তুর দ্বারা অপসারিত ফ্লুয়িডের ওজনের সমান।

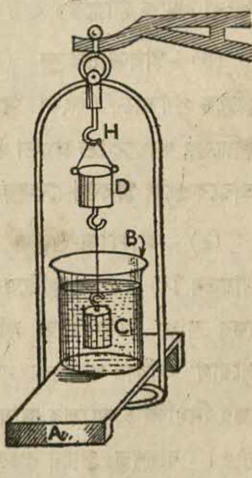
ব্যাখ্যা।—কোন বস্তুর ভর বায়ুশূন্য স্থানে যদি W হয় এবং ঐ বস্তুর v আয়তন কোন ফ্লুয়িডে নিমজ্জিত থাকিলে যদি উহার ভর W_1 হয় তাহা হইলে আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী বস্তুর আপাত ওজন-হ্রাস হইবে $(W - W_1)g$। ফ্লুয়িডের ঘনত্ব ρ হইলে বস্তুর দ্বারা অপসারিত ফ্লুয়িডের ওজন হইবে $v\rho g$। অতএব আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী, $(W - W_1)g = v\rho g$; অথবা, $W - W_1 = v\rho$ $\cdots$ $\cdots$(9-4a)

বস্তুটি যদি সম্পূর্ণভাবে ফ্লুয়িডে নিমজ্জিত থাকে তাহা হইলে v বস্তুর আয়তন হইবে।

পরীক্ষামূলক প্রমাণ : এই পরীক্ষার প্রধান অংশ হইতেছে দুইটি চোঙ, যাহার একটি (C) নিরেট এবং অপরটি D ফাঁপা এবং ফাঁপা চোঙের ভিতরের আয়তনের সহিত নিরেট চোঙের বাহিরের আয়তন সমান থাকে। ফাঁপা চোঙটিকে (D) তুলা-দণ্ডের বামদিকের হুক হইতে ঝুলাইয়া নিরেট চোঙটিকে ফাঁপা চোঙের তলার একটি হুক হইতে ঝুলাইয়া রাখা হয়। নিরেট চোঙটি একটি শূন্য বীকারের মাঝামাঝি স্থানে ঝুলিয়া থাকে এবং এই বীকারকে (B) তুলার বামপাল্লার উপর স্থাপিত একটি কাঠের সেতুর (A) উপর বসানো থাকে [9.1 নং চিত্র]

পরীক্ষা :—(i) ওজনের বাক্স হইতে কিছু বাটখারা তুলার ডান পাল্লায় রাখিয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হইল যখন বীকার B শূন্য অবস্থায় থাকে।

(ii) এক্ষণে বীকারকে জলদ্বারা ভর্তি করিয়া নিরেট চোঙকে জলের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত রাখিলে দেখা যাইবে যে বামপাল্লা উপরে উঠিয়া গিয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে **নিরেট চোঙটি জলে নিমজ্জিত থাকিলে উহার ওজন আপাতত কমিয়া যায়।**



চিত্র 9.1 : আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রমাণ

(iii) এইবার ফাঁপা চোঙটি (D) সম্পূর্ণভাবে জল দ্বারা ভর্তি করিলে তুলাদণ্ড পুনরায় অনুভূমিক অবস্থায় আসে।

সিদ্ধান্ত :—মনে কর v=ফাঁপা চোঙের ভিতরের আয়তন=নিরেট চোঙের বাহিরের আয়তন। নিরেট চোঙ দ্বারা অপসারিত জলের (যাহার ঘনত্ব ρ) ওজন $=v\rho g$=ফাঁপা চোঙের মধ্যস্থ জলের ওজন। নিরেট চোঙটি জলের মধ্যে নিমজ্জিত থাকায় উহার যে ওজন আপাতত কমিয়া গিয়াছিল তাহা ফাঁপা চোঙের মধ্যস্থ জলের ওজন ($=v\rho g$) দ্বারা পূরণ হইয়াছিল। সুতরাং জলে নিমজ্জিত নিরেট চোঙের আপাত ওজন-হ্রাস$=v\rho g$=উহা দ্বারা অপসারিত জলের ওজন। ইহা দ্বারা আর্কিমিডিসের সূত্র প্রমাণিত হইল। এই তথ্য যে-কোন বস্তুর ক্ষেত্রে এবং যে-কোন তরলের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

9.5. প্লবতা, প্লবতাকেন্দ্র ও আপাত ওজনের অর্থ ;—যে যে বিষয়ের দ্বারা প্লবতা এবং আপাত-ওজন প্রভাবিত হইতে পারে (Meaning of buoyancy, centre

of buoyancy and apparent weight ;—Factors influencing buoyancy and apparent weight) ঃ (*a*) **প্লবতা** (Buoyancy) ঃ— যখন একটি বস্তুকে কোন ফ্লুয়িডের মধ্যে পূর্ণভাবে কিংবা আংশিকভাবে নিমজ্জিত রাখা হয় তখন ঐ বস্তুর দ্বারা অপসারিত ফ্লুয়িডের ওজনের সমান একটি উল্লম্ব ঊর্ধ্ববল বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয় যাহাকে ফ্লুয়িডের **প্লবতা** বলে।

বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন যদি v হয় এবং ফ্লুয়িডের ঘনত্ব যদি ρ হয় তাহা হইলে অপসারিত ফ্লুয়িডের ওজন হইবে $v\rho g$। কাজেই বস্তুর উপর ফ্লুয়িডের প্লবতা হইবে $v\rho g$। প্লবতার এই পরিমাণ হইতে বোঝা যাইতেছে যে ইহা কেবলমাত্র (i) বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তনের (v) উপর এবং (ii) ফ্লুয়িডের ঘনত্বের (ρ) উপর নির্ভর করে ; কিন্তু বস্তুর আকার, ভর এবং পদার্থের উপর নির্ভর করে না কিংবা বস্তুকে ফ্লুয়িডের কত গভীরতায় রাখা হইয়াছে তাহার উপরও নির্ভর করে না।

(*b*) **প্লবতাকেন্দ্র** (Centre of buoyancy) ঃ—একটি বস্তুকে কোন ফ্লুয়িডে পূর্ণভাবে কিংবা আংশিকভাবে নিমজ্জিত রাখিলে, বস্তুর দ্বারা অপসারিত ফ্লুয়িডের ভারকেন্দ্রে প্লবতা উল্লম্ব ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে। অপসারিত ফ্লুয়িডের এই ভারকেন্দ্রকে **প্লবতা-কেন্দ্র** বলে।

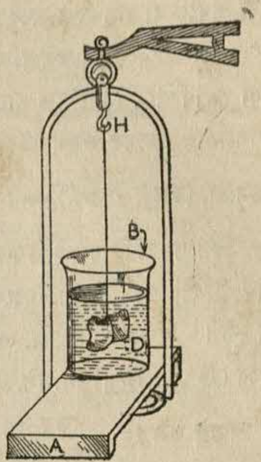
(*c*) **আপাত-ওজন** (Apparent weight) ঃ—একটি বস্তুকে (যাহার আয়তন V) কোন ফ্লুয়িডের মধ্যে পূর্ণভাবে কিংবা আংশিকভাবে নিমজ্জিত রাখিলে বস্তুর দ্বারা অপসারিত ফ্লুয়িড তাহার সম-ওজনের একটি উল্লম্ব ঊর্ধ্ববল বস্তুর উপর প্রয়োগ করিবে যাহাকে বস্তুর উপর ফ্লুয়িডের প্লবতা বলে। ρ ঘনত্বের ফ্লুয়িডে যদি বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন v হয় তাহা হইলে বস্তুর উপর ফ্লুয়িডের প্লবতা হইবে $v\rho g$। বায়ুশূন্য স্থানে বস্তুর ওজন W হইলে এই ওজন খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিবে এবং ইহার উপর ফ্লুয়িডের প্লবতা $v\rho g$ খাড়া উপরের দিকে ক্রিয়া করিবে। কাজেই ফ্লুয়িডে নিমজ্জিত বস্তুর,

$$\text{আপাত-ওজন} = W_1 = W - v\rho g \text{ ; অথবা, } W - W_1 = v\rho g \qquad (9\text{-}5a)$$

যখন $W > v\rho g$, তখন বস্তুটি সম্পূর্ণভাবে ফ্লুয়িডে নিমজ্জিত থাকিবে এবং তখন $v = V$ = বস্তুর আয়তন হইবে। আবার যখন $W < v\rho g$, তখন বস্তুটি ফ্লুয়িডে ভাসিতে থাকিবে এবং তখন v বস্তুর নিমজ্জিত অংশের আয়তন হইবে। বস্তুর উপর ফ্লুয়িডের প্লবতা ($= v\rho g$) যত বেশী হইবে, বস্তুর আপাত-ওজন (W_1) তত কম হইবে।

আপাত-ওজন এবং প্লবতা দেখাইবার পরীক্ষা ঃ—একটি সাধারণ তুলার বামপাল্লার উপর একটি কাঠের সেতু (A) বসাইয়া তাহার উপর একটি শূন্য বীকারকে (B) এমনভাবে বসানো হইল যাহাতে পাল্লাটি দোল খাইতে বাধা না পায়।

তুলাদণ্ডের বামবাহুর হুকে (H) একটি সূতা বাঁধিয়া তাহার নিম্নপ্রান্তে একটি বস্তুকে (D) বাঁধিয়া (যাহার আয়তন v জানা আছে) বীকারের মধ্যভাগে ঝুলাইয়া রাখা হইল। ডান পাল্লায় বাটখারা চাপাইয়া বস্তুর ওজন W লওয়া হইল [9.2নং চিত্র]।



চিত্র 9.2 : প্লাবতা দেখাইবার পরীক্ষা

(i) বীকারের মধ্যে ঘরের উষ্ণতায় জল ঢালা হইল যতক্ষণ না বস্তুটি সম্পূর্ণভাবে জলে নিমজ্জিত হয়। দেখা যাইবে যে বামপাল্লা উপরে উঠিয়া গিয়াছে। অর্থাৎ জলে বস্তুর আপাত ওজন, উহার প্রকৃত ওজন W অপেক্ষা কম হইতেছে। এক্ষণে ডান পাল্লায় W_1 পরিমাণ ওজনের বাটখারা রাখিয়া জলে নিমজ্জিত বস্তুর ওজন W_1 পাওয়া গেল। বস্তুর আয়তন v এবং ঘরের উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব ρ জানা আছে। কাজেই বস্তু দ্বারা অপসারিত জলের ওজন$=v\rho g=$বস্তুর উপর জলের প্লবতা জানা গেল। দেখা যাইবে যে $W_1=W-v\rho g$। অর্থাৎ **আপাত-ওজন=প্রকৃত ওজন−প্লবতা**।

(ii) এইবার বীকারে (B) জলের বদলে অ্যালকোহল লওয়া হইল কিন্তু একই বস্তুকে উহার মধ্যে নিমজ্জিত রাখা হইল। দেখা গেল যে বস্তুর আপাত-ওজন W_1 বেশী হইল এবং প্লবতা ($v\rho' g$) কমিয়া গেল (এখানে ρ'=অ্যালকোহলের ঘনত্ব)। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে কোন বস্তুর আপাত-ওজন এবং উহার উপর তরলের প্লবতা তরলের ঘনত্বের উপর নির্ভর করে।

(iii) বীকারের মধ্যে জল রাখিয়া (যাহার ঘনত্ব ρ) একই ভরের পিতল এবং সীসার গোলককে পর পর জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে দেখা যাইবে যে পিতলের গোলকের ক্ষেত্রে আপাত-ওজন কম হইতেছে কিন্তু সীসার গোলকের ক্ষেত্রে আপাত-ওজন বেশী হইতেছে। ইহার কারণ পিতলের ঘনত্ব সীসার ঘনত্ব অপেক্ষা কম। কাজেই একই ভরের পিতল ও সীসা লইলে পিতলের আয়তন বেশী হইবে এবং সীসার আয়তন কম হইবে। তাহা হইলে প্রমাণিত হইল যে, কোন তরলে বস্তুর আপাত-ওজন এবং উহার উপর তরলের প্লবতা, বস্তুর আয়তনের উপর নির্ভর করে।

9-6. আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রয়োগ (Application of Archimedes' Principle) :

(*a*) **অসম আকৃতিবিশিষ্ট বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব নির্ণয় :**—একটি তুলাদণ্ডের বাম বাহুর আংটা (H) হইতে অসম আকৃতির বস্তুটিকে (D) একটি সূক্ষ্ম

বীকারের (B) মধ্যে ঝুলাইয়া রাখা হইল যে বীকারকে বাম পাল্লার উপরে স্থাপিত একটি কাঠের সেতুর (A) উপর বসানো আছে [9.2নং চিত্র দেখ]। বীকারের মধ্যে প্রথমে বাতাস এবং পরে ঘরের উষ্ণতায় কোন তরল লইয়া বস্তুটির ভর যথাক্রমে W_1 এবং W_2 লওয়া হইল, যখন বস্তুটি প্রথমে বাতাসের মধ্যে এবং পরে তরলের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে নিমজ্জিত থাকে। যদি বস্তুটির বাহ্যিক আয়তন V হয় তাহা হইলে অপসারিত তরলের ওজন হইবে $V\rho g$ [ρ=তরলের ঘনত্ব]। আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী, $(W_1 - W_2)g = V\rho g$; অথবা, $V = \frac{W_1 - W_2}{\rho}$ ... (9-6a)

যদি তরল পদার্থ টি ঘরের উষ্ণতার জল হয় তাহা হইলে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব প্রায় 1 গ্রাম/সি.সি. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে জলের ঘনত্ব=62·5 পাউণ্ড/ঘন ফুট। অতএব, সি. জি. এস্. এবং এফ্.পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর আয়তন যথাক্রমে হইবে $(W_1 - W_2)$ সি. সি. এবং $(W_1 - W_2)/62.5$ ঘনফুট।

$$\textbf{বস্তুর ঘনত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{\text{বস্তুর আয়তন}} = \frac{W_1}{V} = \frac{W_1}{W_1 - W_2}\rho \quad \cdots \quad (9\text{-}6b)$$

অতএব, সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে বস্তুর ঘনত্ব যথাক্রমে হইবে

$\frac{W_1}{W_1 - W_2}$ গ্রাম/সি. সি. এবং $\frac{W_1}{W_1 - W_2} \times 62{\cdot}5$ পাউণ্ড/ঘনফুট।

(b) **বস্তুর নিরেট কিংবা ফাঁপা অবস্থা নির্ণয় :—**(i) সাধারণ তুলার সাহায্যে বস্তুটির বাতাসের মধ্যে ভর W_1 গ্রাম নির্ণয় করিয়া উহার ঘনত্ব (σ গ্রাম প্রতি সি.সি.তে) দ্বারা ঐ ভরকে ভাগ করিলে বস্তুর মধ্যস্থ পদার্থের আয়তন পাওয়া যাইবে। অতএব, **বস্তুর পদার্থের আয়তন**$= v = W_1/\sigma$ সি. সি. ·· ··· (9-6c)

(ii) এইবার বস্তুটিকে তুলাদণ্ডের বাম বাহুর আংটা হইতে ঝুলাইয়া উহাকে ঘরের উষ্ণতায় জলের মধ্যে (যাহার ঘনত্ব=1 গ্রাম/সি. সি.) সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত রাখা হইল এবং এই অবস্থায় উহার ভর W_2 গ্রাম নির্ণয় করা হইল। আর্কিমিডিসের সূত্র অনুযায়ী, বস্তুর বাহ্যিক আয়তন$= V = (W_1 - W_2)$ সি সি ··· ··· ···(9-6d)

যদি, $V = v$ হয় তাহা হইলে বস্তুটি নিরেট হইবে, আর যদি $V > v$ হয় তাহা হইলে বস্তুটি ফাঁপা হইবে এবং ফাঁপা স্থানের আয়তন হইবে $x = (V - v)$ সি. সি.।

(c) **ধাতুর বিশুদ্ধতা নির্ণয় :—**প্রচলিত প্রথায় প্রদত্ত ধাতুটির ঘনত্ব σ নির্ণয় করা হইল। যদি এই নির্ণিত ঘনত্ব, খাঁটি ধাতুর ঘনত্বের সহিত মিলিয়া যায় তাহা হইলে ধাতুটি বিশুদ্ধ নতুবা উহা সংকর ধাতু। ধাতুর নির্ণিত ঘনত্ব যদি খাঁটি ধাতুর ঘনত্ব অপেক্ষা কম কিংবা বেশী হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে খাঁটি ধাতুর সহিত যথাক্রমে কম ঘনত্বের কিংবা বেশী ঘনত্বের ধাতু মিশ্রিত করা আছে। এইভাবে খাঁটি সোনার সহিত খাদযুক্ত সোনার পার্থক্য স্থির করা যায়।

8-7. তরল পদার্থের মধ্যে বস্তুর নিমজ্জনের কিংবা ভাসনের কিংবা যে কোন অবস্থায় থাকার শর্ত নির্ণয় (Determinations of the conditions under which a body will sink or float or remain anywhere in a liquid) : মনে কর কোন বস্তুর, বাতাসের মধ্যে কিংবা বায়ুশূন্য স্থানের মধ্যে ওজন W_1 (কারণ এই দুই স্থানেই বস্তুর ওজন প্রায় সমান)। বস্তুর ওজন (W_1) উহার ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে। V আয়তনের বস্তুটিকে ρ ঘনত্বের কোন তরলের মধ্যে **সম্পূর্ণভাবে** নিমজ্জিত করিলে বস্তুর উপর প্লবতা $W_2 = V\rho g$, প্লবতাকেন্দ্রের মধ্য দিয়া খাড়া ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করিবে। W_1 এবং W_2 যথাক্রমে বস্তু এবং তরলের ঘনত্বের উপর নির্ভর করিবে। বস্তুটি তরলে কি অবস্থায় থাকিবে তাহা W_1 এবং W_2-এর উপর নির্ভর করিবে।

(i) যদি বস্তুর ওজন $W_1 > W_2$ হয়, তাহা হইলে বস্তুর উপর নিম্নমুখী বল উহার উপর ঊর্ধ্বমুখী বল অপেক্ষা বেশী হইবে। কাজেই বস্তুটি তরলে ডুবিয়া যাইবে এবং তরলের পাত্রের তলদেশে যাইয়া স্থির থাকিবে।

(2) যদি বস্তুর ওজন $W_1 < W_2$, তাহা হইলে বস্তুর উপর নিম্নমুখী বল উহার উপর ঊর্ধ্বমুখী বল অপেক্ষা কম হইবে। ইহার ফলে বস্তুটি তরলের মধ্যে সাম্য অবস্থায় থাকিতে পারিবে না। বস্তুটি মুক্ত থাকিলে উহা ক্রমশঃ তরলের বাহিরে আসিতে থাকিবে, যাহাতে উহা দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন (যাহাকে প্লবতা বলে), ঊর্ধ্বদিকে কম বল প্রয়োগ করিতে পারে। এইভাবে বস্তুটি ক্রমশঃ বাহিরে আসিলে উহার উপর তরলের প্লবতা কমিয়া এমন পরিমাণে আসিবে যখন বস্তুর ওজনের সহিত প্লবতা সমান হইয়া যাইবে। এই অবস্থায় বস্তুর উপর কোন লব্ধিবল না থাকায় বস্তুটি সাম্য অবস্থায় থাকিবে, যে অবস্থায় উহার কিছু অংশ তরলের মধ্যে এবং অবশিষ্ট অংশ বাতাসের মধ্যে থাকিবে। অতএব কোন তরলে বস্তুটি সাম্য অবস্থায় ভাসিতে পারিবে যখন,

(i) বস্তুর ওজন ও উহা দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন সমান হইবে, এবং
(ii) বস্তুর ভারকেন্দ্র ও অপসারিত তরলের প্লবতাকেন্দ্র একটি উল্লম্ব সরলরেখায় অবস্থান করিবে।

বস্তুর ভারকেন্দ্র এবং তরলের প্লবতাকেন্দ্র এক উল্লম্ব সরলরেখায় না থাকিলে বস্তুর উপর প্রযুক্ত দুই সমপরিমাণ বল W_1 এবং W_2 বস্তুর উপর দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিবে যাহার ফলে বস্তুটি ঘুরিতে থাকিবে যতক্ষণ না দুই সমপরিমাণ বল (W_1 ও W_2) এক সরলরেখায় আসে।

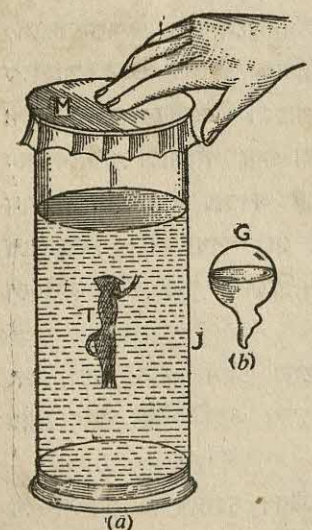
(3) যদি বস্তুর ওজন $W_1 = W_2$ হয়, তাহা হইলে তরলে পূর্ণ নিমজ্জিত বস্তুর

উপর ঊর্ধ্বমুখী বল (W_2) উহার উপর নিম্নমুখী বলের (W_1) সহিত সমান হইয়া যাইবে। এই অবস্থায় বস্তুটি তরলের যে-কোন স্থানে সাম্য অবস্থায় থাকিবে।

9.8. কার্টেসীয় ডাইভার এবং ইহার সাহায্যে তরলে কোন বস্তুর সাম্যঅবস্থা দেখাইবার পরীক্ষা

(Cartesian diver and demonstrations of the conditions of equilibrium of a body in a liquid by it) ঃ ইহা প্রকৃতপক্ষে একটি সরু মুখযুক্ত গোলক (G) যাহার কিছু অংশে জল এবং অবশিষ্ট অংশে বাতাস আছে [9·3 (b) নং চিত্র]। এই গোলকের সঙ্গে একটি পুতুল (T) আটকানো থাকে যাহাতে জিনিসটি চিত্তাকর্ষক হইতে পারে। পুতুল ও গোলক সমেত যে জিনিস হইল তাহাকে **কার্টেসীয় ডাইভার** বলা হয় [9.3 (a) নং চিত্র]। এই ডাইভারটির মোট ওজন W_1, উহার সমআয়তন জলের ওজন W_2 অপেক্ষা সামান্য কম রাখা হয়। কাজেই এই ডাইভারকে J চোঙের জলের মধ্যে ছাড়িয়া দিলে উহার বেশীর ভাগ জলে নিমজ্জিত থাকিয়া ভাসিতে থাকিবে। চোঙের মুখ একটি রবারের পর্দা (M) দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করা থাকে।

পরীক্ষা :—(i) রবারের পর্দার (M) উপর চাপ দিলে চোঙের মধ্যস্থ বায়ুর উপর চাপ পড়িবে এবং এই চাপ চোঙের জলের মধ্যে সাঞ্চলিত হওয়ায় w পরিমাণ বাড়তি জল গোলকের (G) মধ্যে ঢুকিয়া যাইবে, যাহার ফলে ডাইভারের বর্তমান ওজন হইবে (W_1+w)। এই ওজন (W_1+w) ডাইভারের সমআয়তন জলের ওজন (W_2) অপেক্ষা বেশী হইলে ডাইভার ডুবিয়া যাইবে এবং চোঙের তলায় যাইয়া স্থির হইবে। ইহা দ্বারা **বস্তু যে নিয়মে তরলে নিমজ্জিত হয় তাহা দেখানো হইল।**



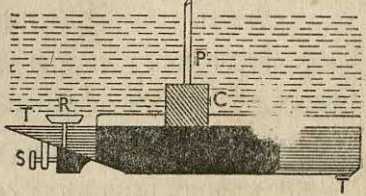
চিত্র 9 3 ঃ কার্টেসীয় ডাইভার

(ii) এক্ষণে পর্দার (M) উপর হইতে আঙ্গুলের চাপ সরাইয়া লইলে গোলকের মধ্যস্থ সংকুচিত বাতাস উহার ভিতরে প্রবিষ্ট w পরিমাণ বাড়তি জলকে ঠেলিয়া বাহির করিয়া দিবে এবং ডাইভারের ওজন পুনরায় W_1 হইবে। এই ওজন W_1,ডাইভারের সমআয়তন জলের ওজন W_2 অপেক্ষা কম

হইবে, কাজেই ডাইভার জলে ভাসিতে থাকিবে। ইহা দ্বারা **বস্তু যে নিয়মে তরলে ভাসে তাহা দেখানো হইল।**

(iii) এইবার চোঙের মুখের পর্দার উপর আঙ্গুলের চাপ এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হইল যাহাতে গোলকের (G) মধ্যে প্রবিষ্ট জলের ওজন (w) এবং ডাইভারের পূর্ব ওজন W_1 একত্রে, W_2-এর (ডাইভার দ্বারা অপসারিত জলের ওজন) সমান হয়। এক্ষণে ডাইভারের উপর কোন লব্ধিবল না থাকায় উহা জলের যে-কোন স্থানে ডুবিয়া থাকিতে পারিবে। ইহা দ্বারা **বস্তু যে নিয়মে তরলের যে-কোন স্থানে থাকিতে পারে তাহা দেখানো হইল।**

ডুবো জাহাজে কার্টেসীয় ডাইভারের নীতির প্রয়োগ ঃ ডুবো জাহাজকে ইচ্ছামত জলে ডুবানো বা ভাসানো যায় এবং এই দুই অবস্থার যে-কোন অবস্থায় ইহাকে চালানোও যায়। এই জাহাজের অগ্র এবং পশ্চাৎভাগে কতকগুলি কপাট-যুক্ত প্রকোষ্ঠ (T) আছে যাহাদিগকে জল দ্বারা ভর্তি করা যায় এবং প্রয়োজনে ঐ জল পাম্পের সাহায্যে দ্রুত বাহির করিয়াও দেওয়া যায়। প্রকোষ্ঠগুলি যখন জল দ্বারা ভর্তি করা হয় তখন জাহাজের ওজন উহার সমআয়তন জলের ওজন অপেক্ষা বেশী হয়, কাজেই জাহাজ ডুবিয়া যায়। আবার যখন প্রকোষ্ঠের জলকে বাহির করিয়া দেওয়া হয় তখন জাহাজের ওজন উহার সমআয়তন জলের ওজন অপেক্ষা কম হওয়ায় জাহাজ জলে ভাসিতে থাকে। ইহার গতিমুখ নিয়ন্ত্রণ করিবার জন্য অনুভূমিক হাল (S) এবং উল্লম্ব হাল (R) আছে। জলের উপরের ঘটনাবলী দেখিবার জন্য ইহাতে একটি পেরিস্কোপ (P) লাগানো থাকে [9·4 নং চিত্র]



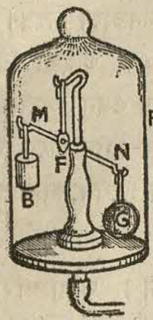
চিত্র 9.4 ঃ ডুবো জাহাজ

9-9. আর্কিমিডিসের সূত্র গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য

(Archimedes' principle is applicable to gases also) ঃ 9-4 পরিচ্ছেদে বলা হইয়াছে যে আর্কিমিডিসের সূত্র যে-কোন ফ্লুয়িডের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। ফ্লুয়িড বলিতে আমরা তরল ও গ্যাসীয় পদার্থকে বুঝিয়া থাকি। তরলের ক্ষেত্রে আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রযোজ্যতার প্রমাণ 9-4 পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে। সূত্রটি যে গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য তাহা নিম্নে বর্ণিত পরীক্ষা হইতে জানা যাইবে।

গ্যাসের ক্ষেত্রে আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রযোজ্যতা, যে যন্ত্রের সাহায্যে দেখানো যায় তাহা 9.5নং চিত্রে দেখানো হইল। ইহা একটি সাধারণ তুলা, যাহার তুলাদণ্ডের

(MN) এক প্রান্তে (M) একটি পিতলের ছোট টুকরা (B) এবং অপর প্রান্তে (N) একটি শোলার কিংবা কাচের বড় গোলককে (G) ঝুলাইয়া রাখা হইয়াছে। এই তুলা যখন বাতাসের মধ্যে থাকে তখন তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক থাকে। কিন্তু ঐ যন্ত্রকে একটি বায়ু নিষ্কাশক পাম্পের রিসিভারের (R) মধ্যে রাখিয়া রিসিভারটি বায়ুশূন্য করিলে দেখা যাইবে যে গোলকটি নীচে নামিয়াছে; অর্থাৎ বায়ুশূন্য স্থানে গোলকের ওজন পিতলের ওজন অপেক্ষা বেশী হইতেছে, যদিও বাতাসের মধ্যে উহাদের ওজন সমান দেখা গিয়াছিল। এই ঘটনা আর্কিমিডিসের সূত্রের সত্যতা নির্দেশ করে যাহার ব্যাখ্যা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।



চিত্র 9.5 : গ্যাসের ক্ষেত্রে আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রযোজ্যতা

ব্যাখ্যা :—যদি পিতলের টুকরার বাহিরের আয়তন v এবং বাতাসের ঘনত্ব σ হয় তাহা হইলে ইহার উপর বাতাসের প্লবতা হইবে $v\sigma$। পিতলের টুকরার প্রকৃত-ওজন (অর্থাৎ বায়ুশূন্য স্থানে ওজন) w হইলে বাতাসের মধ্যে উহার আপাত ওজন হইবে $w_1 = w - v\sigma$।

আবার শোলার কিংবা কাচের গোলকের বাহিরের আয়তন V হইলে ইহার উপর বাতাসের প্লবতা $V\sigma$ হইবে। গোলকের প্রকৃত ওজন W হইলে বাতাসের মধ্যে ইহার আপাত ওজন হইবে $W_1 = W - V\sigma$। বাতাসের মধ্যে তুলাদণ্ড অনুভূমিক ছিল, কাজেই $w_1 = W_1$; অর্থাৎ, $w - v\sigma = W - V\sigma$।

যখন তুলাটিকে বায়ুশূন্য স্থানে রাখা হইল, অর্থাৎ $\sigma = 0$ হইল, তখন পিতলের টুকরা এবং গোলক, বাতাসের প্লবতার জন্য তাহাদের হারানো ওজন যথাক্রমে $v\sigma$ এবং $V\sigma$ ফিরিয়া পাইল। কিন্তু $V > v$, কাজেই গোলকটি যে ওজন ($V\sigma$) ফিরিয়া পাইল তাহা পিতলের টুকরার ফিরিয়া পাওয়া ওজন ($v\sigma$) অপেক্ষা বেশী। এইজন্যই বায়ুশূন্য স্থানে গোলকটি, পিতলের টুকরা অপেক্ষা বেশী ভারী হইয়াছিল।

9-10. তরলে ভাসন-সংক্রান্ত কয়েকটি ঘটনার ব্যাখ্যা (Explanation of some phenomena regarding floatation in liquids) ঃ (a) **বরফ জলে ভাসে কেন?**—দেখা গিয়াছে যে 11 সি. সি. 0°C উষ্ণতার জল (ধরা যাক্ তাহার ঘনত্ব ρ) যখন 0°C উষ্ণতায় বরফ হয় তখন তাহার আয়তন হয় 12 সি. সি.। কাজেই 11 সি. সি. 0°C উষ্ণতার জলের ওজন $= 11\rho = 12$ সি. সি. বরফের ওজন। এই বরফকে সম্পূর্ণভাবে 0°C উষ্ণতার জলের মধ্যে ডুবাইলে উহার উপর প্লবতা হইবে 12ρ যাহা বরফের ওজন অপেক্ষা বেশী। কাজেই বরফ জলে ভাসিবে এবং উহার 11 সি. সি. জলে ডুবিয়া থাকিবে

এবং 1 সি. সি. বাতাসের মধ্যে থাকিবে। এই অবস্থায় বরফের ওজন এবং উহা দ্বারা অপসারিত জলের ওজন সমান হয়। এই বরফ গলিয়া যখন পুনরায় 0°C-এর জল হয় তখন সেই জল বরফের দ্বারা অপসারিত জলের স্থান দখল করে যাহার ফলে জলের তলের কোন পরিবর্তন হয় না।

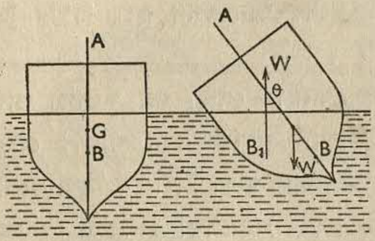
(b) **লোহার জাহাজ জলে ভাসে কেন?**—লোহা জল অপেক্ষা ভারী, অথচ লোহার জাহাজ জলে ভাসে। ইহার কারণ, লোহাকে এমন আকার দেওয়া হয় যাহাতে উহা দ্বারা অপসারিত জলের ওজন (যাহা খাড়া ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করে), লোহার ওজন (যাহা খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করে) অপেক্ষা বেশী হয়। এজন্য জাহাজের লোহার পাতকে বাঁকাইয়া ভিতরের দিকে অবতল এবং বাহিরের দিকে উত্তল করা হয়। জাহাজের এইরূপ আকারের জন্য উহার ভিতর এত বেশী ফাঁপা হয় যে উহার সামান্য উত্তল অংশ জলে ডুবিলেই অপসারিত জলের ওজন, মালসমেত জাহাজের ওজনের সমান হইয়া যায়। এই অবস্থায় জাহাজ জলে ভাসিতে থাকে।

(c) **সর্বোচ্চ পরিমাণ মাল লইয়া জাহাজ যখন সমুদ্র হইতে নদীতে প্রবেশ করে তখন কিছু মাল কমাইয়া লওয়া হয় কেন?**—প্রত্যেক জাহাজের গায়ের উপরে এবং নীচে দুইটি রেখা অঙ্কিত রাখা আইনত বাধ্যতামূলক। এই রেখা দুইটিকে **প্লিম্‌সল্ রেখা** (plimsoll line) বলে। জাহাজের মধ্যস্থ মালের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন পরিমাণ এমন হইবে যাহাতে জলের তল যথাক্রমে জাহাজের গায়ের উপরের রেখার উপরে না উঠে এবং নীচের রেখার নীচে না নামে।

সমুদ্রের জলের ঘনত্ব, নদীর জলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী। এজন্য জাহাজের উপর জলের প্লবতা সমুদ্রে বেশী হইবে এবং নদীতে কম হইবে। সে সর্বোচ্চ পরিমাণ মাল জাহাজকে সমুদ্রের জলে উহার উচ্চদাগ পর্যন্ত ডুবাইয়াছিল তাহা অপেক্ষা কম পরিমাণ মাল জাহাজকে নদীর জলে ঐ উচ্চদাগ পর্যন্ত ডুবাইবে। এই কারণে, জাহাজটি যখন নদীতে প্রবেশ করে তখন নিরাপত্তার জন্য জাহাজের কিছু মাল বাহির করিয়া লওয়া হয় যাহাতে জাহাজটি নদীর জলেও উহার গায়ের উচ্চদাগ পর্যন্ত ডুবিতে পারে।

(d) **সমুদ্রের ঢেউ-এ জাহাজ দুলিলেও উহা ডুবিয়া যায় না কেন?**—জাহাজ যাহাতে জলে সুস্থির হইয়া ভাসিতে পারে সেজন্য (i) উহার উপর দিকটা চওড়া এবং নীচের দিকটা ক্রমশঃ সরু করা হয় এবং (ii) জাহাজে একটি নিম্নতম ভার চাপানো থাকে [যাহাকে ব্যালাস্ট (ballast) বলে]। এই ব্যবস্থার ফলে জাহাজের ভারকেন্দ্র (G) উহার প্লবতা কেন্দ্রের (B) উপরে থাকে [9.6 নং চিত্রের বাম অংশ]। জাহাজটি যখন স্থির হইয়া খাড়াভাবে ভাসে তখন উহার ভারকেন্দ্র (G) এবং প্লবতাকেন্দ্র (B) একটি উল্লম্ব সরলরেখায় (BGA) থাকে যাহাকে **কেন্দ্রীয়-রেখা** (central line) বলে [9.6 নং চিত্রের বাম অংশ]।

জাহাজটি যখন একপাশে হেলিয়া যায় তখন উহার কেন্দ্রীয়-রেখা (AB) উল্লম্ব-রেখার সহিত একটি কোণ (θ) করে যাহা 15°-এর বেশী হওয়া উচিত নয় [9.6 নং চিত্রের ডান অংশ]। এক্ষণে প্লবতা-কেন্দ্র, B হইতে B_1 স্থানে আসিবে। B_1-এর মধ্য দিয়া জলের প্লবতা (W) খাড়া উপরের দিকে ক্রিয়া করে এবং ভারকেন্দ্রের মধ্য দিয়া জাহাজের মোট ওজন (W) খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করে [কারণ ভাসমান বস্তুর ওজন = বস্তুর উপর প্লবতা]। প্লবতা (W) এবং জাহাজের ভার (W) সমান, বিপরীতমুখী ও সমান্তরাল হওয়ায় উহারা জাহাজের উপর একটি দ্বন্দ্ব প্রয়োগ করিবে যাহা জাহাজটিকে এমনদিকে ঘুরাইবে যাহাতে উহা তাহার পূর্বের সুস্থির অবস্থায় ফিরিয়া আসিতে পারে। কিন্তু প্লবতা-কেন্দ্র যদি ভারকেন্দ্রের উপরে থাকে তাহা হইলে এই দ্বন্দ্ব জাহাজটিকে আরও ঘুরাইয়া উল্টাইয়া দিবে। জাহাজটি তাহার পূর্বের সাম্য অবস্থা আর ফিরিয়া পাইবে না।



চিত্র 9.6 : জাহাজের সাম্য অবস্থা

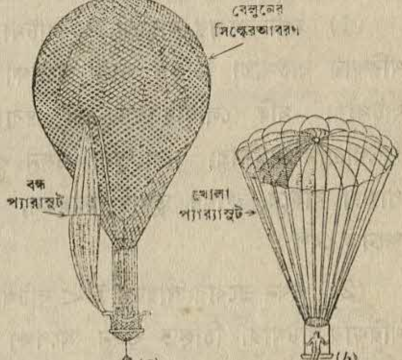
(e) **মানুষ জলে ভাসিয়া থাকিতে পারে কি প্রকারে?**—মানুষের মাথা তাহার সমআয়তন জল অপেক্ষা ভারী কিন্তু দেহের অবশিষ্ট অংশ তাহার সমআয়তন জল অপেক্ষা হাল্কা। এজন্য মানুষের দেহটি আপনাআপনি জলে ভাসিয়া থাকিবে কিন্তু মাথাটি জলে ডুবিয়া যাইবে। ইহার ফলে মানুষের শ্বাস-প্রশ্বাস লওয়া বন্ধ হইয়া যাইবে এবং মানুষ মৃত্যুমুখে পতিত হইবে। কাজেই যে পদ্ধতিতে মানুষের মাথাকে জলের উপরে রাখা যায় তাহাকেই সাঁতার কাটা বলে। ইহার জন্য মানুষকে জলের মধ্যে হাত-পা সঞ্চালন দ্বারা জলের উপর চাপ দিতে হয় যাহাতে মাথা জলের উপরে থাকিতে পারে। কাজেই স্বাভাবিক নিয়মে মানুষের মাথা জলের উপরে থাকে না, ইহার জন্য শিক্ষার প্রয়োজন হয়।

সমুদ্রের জলের ঘনত্ব, নদীর জলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশী। এজন্য মানুষের উপর জলের ঊর্ধ্বঘাত, নদী অপেক্ষা সমুদ্রে বেশী হইবে। ইহাতে সমুদ্রের জলে সাঁতার কাটা কম কষ্টকর হয়। কোন দুর্ঘটনাক্রমে যদি সমুদ্রে জাহাজ ডুবিয়া যায় তাহা হইলে সাঁতার জানা থাকিলেও সমুদ্রে প্রাণরক্ষা করা যায় না। এজন্য প্রত্যেক জাহাজে বায়ুপূর্ণ হাল্কা থলি থাকে যাহাকে জীবন-রক্ষী বা লাইফ-বেল্ট (life belt) বলে। এই থলির সহিত মানুষ যুক্ত থাকিলে উহাদের একত্রের ওজন, উহাদের সমআয়তন জলের ওজন অপেক্ষা কম হয়। এজন্য যাত্রীরা লাইফ্-বেল্ট ধরিয়া জলে ভাসিতে থাকে।

এই প্রসঙ্গে বলা যাইতে পারে যে জন্তু-জানোয়াররা স্বাভাবিক নিয়মেই জলে ভাসিয়া থাকে। ইহাদের মাথা উহার সমআয়তন জল অপেক্ষা হাল্‌কা এবং অবশিষ্ট দেহ, তাহার সমআয়তন জল অপেক্ষা ভারী। কাজেই স্বাভাবিক নিয়মে জন্তু-জানোয়ারের মাথা জলের উপরে থাকে এবং শ্বাস-প্রশ্বাসের কোন অসুবিধা হয় না।

9-11. বায়ুর প্লবতাজনিত কয়েকটি ঘটনার ব্যাখ্যা (Explanation of some facts relating to buoyancy of air) :

(a) **বেলুন বাতাসে ভাসে কেন ?**—বেলুনে একটি সিল্কের আবরণ থাকে যাহার মধ্যে বায়ু অপেক্ষা হাল্‌কা গ্যাস (যথা, হাইড্রোজেন কিংবা কোল গ্যাস কিংবা হিলিয়াম গ্যাস—হাইড্রোজেন ও কোলগ্যাস দাহ্য বলিয়া সাধারণতঃ হিলিয়াম গ্যাসই ব্যবহৃত হয়) আবদ্ধ করিয়া রাখা হয় যাহাতে বেলুন দ্বারা অপসারিত বাতাসের ওজন, বেলুন এবং তাহার মধ্যস্থ যাবতীয় জিনিস এবং যাত্রীদের ওজন অপেক্ষা বেশী হয়। বেলুনের উপর বায়ুর প্লবতা বেলুনের ওজন অপেক্ষা বেশী হওয়ায় বেলুন উপরে উঠিতে থাকে। বেলুনের মধ্যে কয়েকটি বালিভর্তি বস্তা রাখিয়া উহাকে উপরে উঠিতে বাধা দেওয়া হয় এবং পরে একে একে ঐ বস্তাগুলি নীচে ফেলিয়া দিলে বেলুনের উপর ঊর্ধ্ববল বেশী হইতে থাকে এবং উহা আস্তে আস্তে উপরে উঠিতে থাকে [9.7 (*a*) চিত্র]। বেলুন একটি নির্দিষ্ট উচ্চে উঠিলে উহাকে বিভিন্ন গতিতে চালাইবার জন্য উহার মধ্যস্থ মোটরের সাহায্যে প্রপেলার নামক একটি যন্ত্র চালানো হয়। ইহাকে বিভিন্ন দিকে চালিত করিবার জন্য রাডার নামক একটি যন্ত্রের সাহায্য লওয়া হয়।



চিত্র 9.7 : বেলুন

বেলুনকে যখন নীচে নামাইবার প্রয়োজন হয় তখন একটি সূতার সাহায্যে, বেলুনের মাথায় অবস্থিত একটি ভাল্‌ভ আস্তে আস্তে খুলিতে থাকিলে আবরণের মধ্যের হাল্‌কা গ্যাস বাহিরে যায় এবং উহার স্থান বায়ু দ্বারা অধিকৃত হয়। ইহার ফলে বেলুন ভারী হইয়া আস্তে আস্তে নীচে নামিতে থাকে। অনেক সময় প্যারাসুটের [9.7 (*b*) চিত্র] সাহায্যেও নীচে নামা হয়। প্যারাসুট একটি বড় ছাতার মত দেখিতে যাহার পরিধি হইতে অনেকগুলি সূতা বাঁধিয়া ঐ সূতাগুলির

নিম্নপ্রান্ত একটি ফ্রেমে বাঁধা থাকে। প্যারাস্থটের মাথার একটি ছিদ্রের মধ্য দিয়া বাতাস ধীরে ধীরে বাহিরে নির্গত হয় এবং প্যারাস্থটটি ধীরে ধীরে নামিতে থাকে।

(*b*) **সাধারণ তুলায়, বিভিন্ন পদার্থের বাটখারা দ্বারা বিভিন্ন পদার্থ নির্মিত দ্রবের ওজন লইলে খরিদ্দারের কিরূপ লাভ-ক্ষতি হইবে ?**—মনে কর দ্রব্যটির প্রকৃত ওজন ও উহার বাহিরের আয়তন যথাক্রমে W ও V এবং বাটখারার ক্ষেত্রে ঐ রাশিগুলি যথাক্রমে w ও v। বাতাসের মধ্যে (বাতাসের ঘনত্ব ধরা যাক্ σ) যখন তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করা হয় তখন দ্রব্যের আপাত-ওজনের সহিত বাটখারার আপাত ওজন সমান হইবে। অর্থাৎ,

$$W - V\sigma = w - v\sigma \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (9\text{-}11a)$$

এই সমীকরণ হইতে নিম্নলিখিত তিনটি সিদ্ধান্তে পৌঁছান যায়।

(1) যখন দ্রব্যের আয়তন $V>$বাটখারার আয়তন v, তখন $W>w$। অতএব খরিদ্দার বাটখারা চিহ্নিত ওজন অপেক্ষা বেশী ওজনের জিনিস পাইবে। **যথা,** বাটখারা যদি লোহার হয় এবং দ্রব্যটি যদি তুলা হয় তাহা হইলে এক কিলোগ্রাম বাটখারা দ্বারা তুলা ওজন করিলে এক কিলোগ্রাম অপেক্ষা বেশী তুলা পাওয়া যাইবে, কারণ তুলার আয়তন, লোহার বাটখারার আয়তন অপেক্ষা অনেক বেশী।

(2) যখন দ্রব্যের আয়তন $V<$ বাটখারার আয়তন v, তখন $W<w$। অতএব খরিদ্দার বাটখারা চিহ্নিত ওজন অপেক্ষা কম ওজনের দ্রব্য পাইবে। **যথা,**—বাটখারা যদি পিতলের হয় এবং দ্রব্যটি যদি সোনা হয় তাহা হইলে 10 গ্রামের পিতলের বাটখারা দ্বারা সোনা ওজন করিয়া লইলে 10 গ্রাম অপেক্ষা কম সোনা পাওয়া যাইবে, কারণ সোনার আয়তন $(V)<$পিতলের বাটখারার আয়তন (v)।

(3) যখন বস্তুর আয়তন $(V)=$বাটখারার আয়তন (v) তখন $W=w$। অতএব এক্ষেত্রে বাটখারা চিহ্নিত ওজনের সমান পরিমাণ দ্রব্য পাওয়া যাইবে। ইহা দ্বারা ক্রেতা বা বিক্রেতা কেহই ঠকিবে না।

(c) **বায়ুমণ্ডলের বাতাসপূর্ণ একটি গোলককে প্রথমে আস্ত অবস্থায় এবং পরে উহাকে ভাঙ্গিয়া উহার সব টুকরাগুলি ওজন করা হইল ; এই দুই ওজনের কোন পার্থক্য হইবে কি ?**—এই দুই ওজনের মধ্যে কোন পার্থক্য দেখা যাইবে না, যাহার ব্যাখ্যা নিম্নলিখিত ভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

ব্যাখ্যা :—মনে কর গোলকের কেবলমাত্র কাচের আয়তন v এবং গোলকের ভিতরের আয়তন V (যাহার মধ্যে σ ঘনত্বের বায়ুমণ্ডলের বাতাস আছে)। অতএব গোলকের বাহিরের আয়তন হইবে $(V+v)$। গোলকের কাচের প্রকৃত ওজন যদি

w হয় তাহা হইলে বায়ুতে বাতাস-ভর্তি গোলকের আপাত-ওজন হইবে $W_1 = (w+V\sigma)-(V+v)\sigma = w - v\sigma$ ...(9.11b)

গোলককে ভাঙ্গিয়া টুকরা টুকরা করিয়া ঐ টুকরাগুলিকে একত্রিত করিয়া বায়ুতে ওজন করিলে উহাদের আপাত-ওজন হইবে $W_2 = (w - v\sigma)$ ...(9.11c)
কাজেই দেখা যাইতেছে যে গোলকটির আস্ত অবস্থায় যে আপাত-ওজন (W_1) পাওয়া যাইবে, উহার ভাঙ্গা অবস্থাতেও একই পরিমাণ আপাত-ওজন (W_2) পাওয়া যাইবে, কারণ $W_1 = W_2$ ।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 9]

1. ঘনত্ব ও আপেক্ষিক গুরুত্বের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের একক কি এবং উহাদের মধ্যে কি পার্থক্য? [Art. 9-2]

2. আর্কিমিডিসের নীতি কি? ইহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও। [Art. 9-4]

3. প্লবতা, প্লবতাকেন্দ্র ও আপাত-ওজন বলিতে কি বুঝ? বস্তুর আপাত-ওজন এবং উহার উপর প্লবতা কি কি বিষয়ের উপর নির্ভর করে? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 9-5]

4. আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা, (a) অসম আকৃতির বস্তুর আয়তন ও ঘনত্ব কিরূপে নির্ণয় করিবে? (b) কোন বস্তু নিরেট কিংবা ফাঁপা তাহা কিভাবে স্থির করিবে? (c) ধাতুর বিশুদ্ধতা কিভাবে স্থির করিবে? [H. S. (Comp.) – 1960,' 64 ; H. S. 1969] [Art. 9-5]

5. তরলে কোন বস্তুর নিমজ্জনের কিংবা ভাসনের শর্তগুলি নির্ণয় কর। [Art. 9-7]

6. কার্টেসীয় ডাইভারের বিবরণ দাও এবং উহা দ্বারা বস্তুর নিমজ্জনের কিংবা ভাসনের শর্তগুলি কিভাবে দেখানো যায়? ডুবো জাহাজে কার্টেসীয় ডাইভারের নীতি কিভাবে প্রযুক্ত হয়? [Art. 9-8]

7. আর্কিমিডিসের নীতি যে গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য তাহা একটি পরীক্ষা দ্বারা দেখাইয়া দাও। এক পাউণ্ড তুলা এক পাউণ্ড সীসা অপেক্ষা ভারী—এই উক্তির ব্যাখ্যা কর। [Art. 9-9]

8. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির যথাযথ উত্তর লিখ :—

(a) 0°C-এর জলে 0°C-এর বরফ ভাসে কেন? ঐ বরফ গলিয়া জল হইলে পাত্রের জলের তলের কোন পরিবর্তন দেখা যায় না কেন?

(b) লোহা জল অপেক্ষা ভারী কিন্তু লোহার জাহাজ জলে ভাসে কেন?

(c) জাহাজ যখন সর্বোচ্চ পরিমাণ মাল লইয়া সমুদ্র হইতে নদীতে প্রবেশ করে তখন কিছু মাল কমাইয়া দেওয়া হয় কেন?

(d) সমুদ্রের ঢেউ-এ জাহাজ দুলিলেও উহা ডুবিয়া যায় না কেন?

(e) মানুষ সাঁতার কাটে কিভাবে? [Art. 9-10]

9. সাধারণ তুলায়, পিতলের বাটখারা দ্বারা সোনা এবং অ্যালুমিনিয়াম ওজন করিলে কে লাভবান হইবে—ক্রেতা না বিক্রেতা? [সোনার ঘনত্ব=19·3 ; পিতলের ঘনত্ব=8·5 এবং অ্যালুমিনিয়ামের ঘনত্ব=2·6] [Art. 9-11 (b)]

10. একটি বাতাসপূর্ণ কাচের গোলককে প্রথমে আস্ত অবস্থায় এবং পরে ভাঙ্গা অবস্থায় কাঁচগুলির ওজন লওয়া হইল। এই দুই ওজনের পার্থক্য হইবে কি? [Art. 9-11 (c)]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 9]

A. Multiple Choice type : (1) একটি মালভর্তি জাহাজ সমুদ্রের জলে এবং নদীর জলে কিভাবে ভাসিবে ?—সমুদ্রের জলে জাহাজের কম আয়তন ডুবিয়া থাকিবে কিন্তু নদীর জলে উহার বেশী আয়তন ডুবিবে ; সমুদ্রের জলে এবং নদীর জলে জাহাজের একই আয়তন ডুবিয়া থাকিবে ; সমুদ্রের জলে বেশী ডুবিবে এবং নদীর জলে কম ডুবিবে। (2) একটি লোহার বলকে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া বাতাসের মধ্যে, এবং জলের মধ্যে রাখিলে সুতার টান কিরূপ হইবে ?—দুই ক্ষেত্রেই সুতার টান একই থাকিবে ; বলটি জলের মধ্যে থাকিলে জলের প্লবতার জন্য সুতার টান কম হইবে। (3) একটি বীকারভর্তি জলকে তুলার বাম পাল্লায় রাখিয়া ডান পাল্লায় বাটখারা চাপাইয়া তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক অবস্থায় রাখা হইল। জলে একটি আঙ্গুল ডুবাইলে তুলাদণ্ড কিভাবে থাকিবে ?—তুলাদণ্ডের অনুভূমিক অবস্থার পরিবর্তন হইবে না ; তুলার বাম পাল্লা নীচে নামিয়া আসিবে কারণ আঙ্গুল দ্বারা অপসারিত জলের ওজন বাম পাল্লার উপর পড়িবে ; তুলার ডান পাল্লা নীচে নামিয়া আসিবে।

B. Recall type : (1) কোন বস্তুকে সম্পূর্ণভাবে কিংবা আংশিকভাবে কোন তরলে ডুবাইলে তরল বস্তুর উপর একটি—প্রয়োগ করে যাহার পরিমাণ বস্তুর দ্বারা—তরলের ওজনের সমান। (2) সমুদ্রের জলে জাহাজের ভাসন সুস্থির হইবে যখন উহার — প্লবতাকেন্দ্রের– থাকে। (3) খেলনার বেলুনের মধ্যে হাইড্রোজেন গ্যাস পুরিলে উহা — উঠে কিন্তু কার্বন-ডাইঅক্সাইড গ্যাস পুরিলে উহা — নামে।

C. True or False type : (1) একটি লোহার বল জলেও যেমন ডোবে, পারদেও সেইরূপ ডুবিয়া যায়। (2) বরফ জলে ভাসে কিন্তু তেলে ডুবিয়া যায়। (3) একটি ডিম বিশুদ্ধ জলে ডুবিয়া যায় কিন্তু লবণজলে ভাসে। (4) মানুষ যে নিয়মে জলে সাঁতার কাটে জন্তু-জানোয়ারও ঐ একই নিয়মে সাঁতার কাটে। (5) একটি ফুটবল ব্লাডারকে বায়ুশূন্য রাখিলে যে ওজন পাওয়া যাইবে, বায়ুভর্তি করিলে বেশী ওজন পাওয়া যাইবে।

কষা-অঙ্ক (Worked-out sums) [অধ্যায় 9]

আর্কিমিডিসের সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা অঙ্ক কষিতে হইলে নিম্নলিখিত নিয়ম দুইটির যে-কোনটির সাহায্য লইতে হয়।

(i) **নিমজ্জিত বস্তুর ক্ষেত্রে,** বস্তুর প্রকৃত ওজন (W)—ফ্লুয়িডে বস্তুর আপাত ওজন (W') = বস্তুর আয়তন (V) × ফ্লুয়িডের ঘনত্ব (ρ)।

(ii) **ভাসমান বস্তুর ক্ষেত্রে,** ভাসমান বস্তুর ওজন (W) = অপসারিত ফ্লুয়িডের আয়তন (v) × ফ্লুয়িডের ঘনত্ব (ρ)।

1. একটি তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্ত হইতে সমব্যাসের একটি লোহার ও একটি কাঁচের চোঙ জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক থাকে। চোঙ দুইটি দৈর্ঘ্যের তুলনা কর যখন লোহার এবং কাচের ঘনত্ব যথাক্রমে 7·2 ও 2·55 গ্রাম/সি.সি.। (H.S. 1968)

উঃ। লোহার চোঙের দৈর্ঘ্য l_1, কাচের চোঙের দৈর্ঘ্য l_2 এবং দুই চোঙের প্রস্থচ্ছেদ $\alpha = \pi d^2/4$ হইলে, লোহার চোঙের আয়তন $= l_1\alpha$ এবং কাচের চোঙের

আয়তন $= l_2\alpha$। আমরা জানি, নিমজ্জিত বস্তুর আপাত-ওজন $W' =$ উহার প্রকৃত ওজন $W -$ বস্তুর আয়তন $\times$ তরলের ঘনত্ব। অতএব জলে লোহার চোঙের আপাত-ওজন $= W_1 = l_1\alpha \times 7{\cdot}2 - l_1\alpha \times 1 = l_1\alpha \times 6{\cdot}2$ ...(1)

আবার জলে কাচের চোঙের আপাত-ওজন $= W_2 = l_2\alpha\,(2{\cdot}55 - 1)$ ...(2)

প্রশ্ন অনুযায়ী, $W_1 = W_2$: অথবা, $l_1\alpha \times 6{\cdot}2 = l_2\alpha \times 1{\cdot}55$; অথবা, $l_1/l_2 = {\cdot}25$।

2. একটি ফাঁপা গোলকের ভিতরের এবং বাহিরের ব্যাস যথাক্রমে 10 cm. ও 12 cm.। গোলকটি 1·5 গ্রাম/সি.সি. ঘনত্বের একটি তরলের মধ্যে ঠিক ডুবিয়া ভাসে। গোলকটির উপাদানের ঘনত্ব নির্ণয় কর।

উঃ ভাসমান গোলকটির ঘনত্ব ρ হইলে উহার প্রকৃত ওজন হইবে $W = \frac{4}{3}\pi(6^3 - 5^3)\rho$ গ্রাম। গোলকের দ্বারা অপসারিত তরলের ওজন $= W_1 = \frac{4}{3}\pi 6^3 \times 1{\cdot}5$ গ্রাম। ভাসমান বস্তুর শর্ত অনুযায়ী $W = W_1$; অথবা, $\frac{4}{3}\pi(6^3 - 5^3)\rho = \frac{4}{3}\pi 6^3 \times 1{\cdot}5$; অথবা $\rho = 3{\cdot}5$ গ্রাম/সি. সি.।

3. বরফ, বিশুদ্ধ জল ও সমুদ্র জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে ·918, 1 ও 1·03। বরফের আয়তনের কত অংশ জলের উপরে থাকিবে যখন উহা বিশুদ্ধ জলে এবং সমুদ্র জলে ভাসে?

উঃ। মনে কর V আয়তনের ও s আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি বস্তু ρ আপেক্ষিক গুরুত্বের কোন তরলের মধ্যে উহার xV অংশ ডুবাইয়া রাখিয়া ভাসিতেছে ; এখানে x একটি ভগ্নাংশ। বস্তুর তরলে ভাসিবার শর্ত অনুযায়ী,

$Vs = xV\rho$; অথবা, $x = s/\rho$। বস্তুটির আয়তনের যদি y অংশ তরলের উপরে থাকে তাহা হইলে $y = 1 - x = (1 - s/\rho)$ ...(1)

(i) যখন বরফটি বিশুদ্ধ জলে ভাসিতেছে তখন $\rho = 1$ এবং $s = {\cdot}918$। অতএব, $y = 1 - \frac{{\cdot}918}{1} = {\cdot}082 = \frac{1}{12}$ (প্রায়)।

(ii) যখন বরফটি সমুদ্র জলে ভাসিতেছে তখন $\rho = 1{\cdot}03$ এবং $s = {\cdot}918$। অতএব, $y = 1 - \frac{{\cdot}918}{1{\cdot}03} = \frac{1}{9}$ (প্রায়)।

4. একটি সংকর ধাতুর মধ্যে তামা ও টিন মিশ্রিত আছে। ঐ সংকর ধাতুর জলে ওজন 260 গ্রাম এবং 1·5 গ্রাম/সি. সি. ঘনত্বের তরলের মধ্যে উহার ওজন 240 গ্রাম। তামা ও টিনের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 8·9 ও 7·3 হইলে ঐ সংকর ধাতুর মধ্যে তামা ও টিনের পরিমাণ নির্ণয় কর।

উঃ। ঐ সংকর ধাতুর বাতাসে ওজন W গ্রাম এবং উহার বাহিরের আয়তন V সি. সি. হইলে, উহার প্রকৃত ওজন − আপাত ওজন = অপসারিত তরলের ওজন।

অতএব, $W-260=V\times 1$; এবং $W-240=V\times 1\cdot5$ ।

অথবা, $\dfrac{W-260}{W-240}=\dfrac{1}{1\cdot5}$; অথবা, $W=300$ গ্রাম। যদি সংকর ধাতুর মধ্যে x গ্রাম তামা থাকে তাহা হইলে $(300-x)$ গ্রাম টিন থাকিবে। সুতরাং,

$$\frac{x}{8\cdot9}+\frac{300-x}{7\cdot3}=300-260 \text{ [কারণ } V=W-260 \text{]}$$

অতএব, $x=44\cdot5$ গ্রাম = তামার পরিমাণ। টিনের পরিমাণ $=(300-44\cdot5)=255\cdot5$ গ্রাম।

5. একটি ধাতুর ঘনত্ব $=10\cdot5$ গ্রাম/সি. সি.। ঐ ধাতু নির্মিত একটি বস্তুর বাতাসে ওজন $=465\cdot15$ গ্রাম এবং জলে ওজন $=370\cdot85$ গ্রাম। বস্তুটি নিরেট না ফাঁপা ?

উঃ। বস্তুটির মধ্যস্থ ধাতুর আয়তন $=\dfrac{465\cdot15}{10\cdot5}=44\cdot3$ সি. সি.। বস্তুটির বাহিরের আয়তন $=465\cdot15-370\cdot85=94\cdot3$ সি. সি.। সুতরাং বস্তুটি ফাঁপা এবং ঐ ফাঁপা জায়গার আয়তন $=94\cdot3-44\cdot3=50$ সি. সি.।

6. একটি কঠিন বস্তু তাহার $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ এবং $\frac{1}{4}$ অংশ তিনটি বিভিন্ন তরলে ডুবাইয়া ভাসিতে পারে। ঐ তিনটি তরলকে সমআয়তনে মিশাইলে ঐ মিশ্রণে কঠিনটি তাহার কত অংশ মিশ্রণের বাহিরে রাখিয়া ভাসিবে ?

উঃ। মনে কর তিনটি তরলের ঘনত্ব ρ_1, ρ_2 ও ρ_3 এবং উহাদের প্রত্যেকের v আয়তন লইয়া যে $3v$ আয়তনের মিশ্রণ করা হইল তাহার ঘনত্ব ρ।

অতএব, $3v\rho=v\rho_1+v\rho_2+v\rho_3$; অথবা, $3\rho=\rho_1+\rho_2+\rho_3$ $\qquad\cdots(1)$

আবার কঠিনের বাতাসে ওজন যদি W হয় এবং উহার বাহিরের আয়তন V হয় তাহা হইলে, $W=\dfrac{V}{2}\rho_1=\dfrac{V}{3}\rho_2=\dfrac{V}{4}\rho_3$; অথবা, $\rho_1=\dfrac{2W}{V}$; $\rho_2=\dfrac{3W}{V}$ এবং $\rho_3=\dfrac{4W}{V}$। যদি তিন তরলের মিশ্রণে কঠিনের আয়তনের x অংশ ডুবিয়া থাকে তাহা হইলে $W=xV\rho$, অথবা $\rho=\dfrac{W}{xV}$। কিন্তু $3\rho=\rho_1+\rho_2+\rho_3$; অথবা $\dfrac{3W}{xV}=\dfrac{2W}{V}+\dfrac{3W}{V}+\dfrac{4W}{V}$; অথবা, $\dfrac{3}{x}=9$; অথবা, $x=\frac{1}{3}$। কাজেই মিশ্রণে কঠিনটি তাহার আয়তনের $\frac{2}{3}$ অংশ বাতাসে রাখিয়া ভাসিবে।

7. একটি সাধারণ তুলার তুলা দণ্ডের দুই প্রান্ত হইতে এক টুকরা ধাতু এবং $42\cdot75$ গ্রাম আইভরি জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকে। কিন্তু উহাদিগকে জলের বদলে কেরোসিন তেলের মধ্যে ডুবাইলে তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক

রাখিতে সেই পাল্লার উপর আরও 4·35 গ্রাম ভার চাপাইতে হইবে যে পাল্লা হইতে ধাতুর টুক্‌রা ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে। ধাতুর টুক্‌রাটির ভর ও ঘনত্ব নির্ণয় কর। আইভরি ও কেরোসিন তেলের ঘনত্ব যথাক্রমে 1·8 ও ·8 গ্রাম প্রতি সি. সি-তে।

উঃ। ধরা যাক্ ধাতুটির ভর W এবং আয়তন V। প্রথমবারের জন্য জলে, আইভরির আপাত-ওজন=ধাতুর আপাত-ওজন ;

অথবা, $42{\cdot}75 - \frac{42{\cdot}75}{1{\cdot}8}\times 1 = W - V\times 1$; অথবা, $19 = W - V$;

অথবা, $V=(W-19)$। দ্বিতীয় বারের জন্য কেরোসিন তেলে,

আইভরির আপাত-ওজন=(ধাতুর ওজন+4·35)$-V\times{\cdot}8$.

অথবা, $42{\cdot}75 - \frac{42{\cdot}75}{1{\cdot}8}\times{\cdot}8 = W+4{\cdot}35-(W-19)\times{\cdot}8$

অথবা, $23{\cdot}75-4{\cdot}35={\cdot}2W+15{\cdot}2$; অথবা $W=21$ গ্রাম

কিন্তু, $V=W-19=21-19=2$ সি. সি.। সুতরাং ধাতুর ঘনত্ব=$\frac{21}{2}=10{\cdot}5$ গ্রাম/সি. সি.।

8. 68 গ্রাম চিনিকে 11 গ্রাম ওজনের একটি মোমের আধারের মধ্যে আবদ্ধ করা হইল। চিনি সমেত মোমের আধারটির জলে ওজন 26·5 গ্রাম। মোমের ঘনত্ব ·8 গ্রাম/সি.সি. হইলে চিনির ঘনত্ব কত হইবে ?

উঃ। দুইটির একত্রে বাতাসে ওজন−দুইটির একত্রে জলে ওজন=দুইটির একত্রের আয়তন × জলের ঘনত্ব। অতএব,

$(68+11)-26{\cdot}5=\left(\frac{68}{s}+\frac{11}{{\cdot}8}\right)$। [এখানে s=চিনির ঘনত্ব]

এই সমীকরণ হইতে s-এর মান পাওয়া যায় 1·75। কাজেই চিনির ঘনত্ব 1·75 গ্রাম/সি. সি.।

9. একটি গোলক জলে ভাসিতেছে, যে গোলকের আয়তন 100 সি. সি. এবং ঘনত্ব ·95 গ্রাম/সি. সি.। এক্ষণে ·9 আপেক্ষিক গুরুত্বের তেল জলের উপর ঢালা হইল যতক্ষণ না গোলকটি তেলের দ্বারা ঢাকা পড়ে। গোলকটির এখন কত আয়তন জলের মধ্যে থাকিবে ?

উঃ। গোলকটির ভর=$100\times{\cdot}95=95$ গ্রাম। সুতরাং গোলকটি যখন জলে ভাসিবে তখন উহার 95 সি. সি. জলের মধ্যে থাকিবে।

আবার গোলকটি যখন তেল এবং জলের মধ্যে ভাসিতেছে তখন যদি উহার x সি. সি. জলের মধ্যে থাকে তাহা হইলে $(100-x)$ সি. সি. তেলের মধ্যে থাকিবে। এই অবস্থায়, গোলকের ওজন=উহা দ্বারা অপসারিত তেল ও জলের ওজন ;

অথবা, $95=(100-x)\times{\cdot}9+x$; অথবা, $x=50$ সি. সি.।

10. 950 কিলোগ্রাম ওজনের এবং 1000 লিটার আয়তনের একটি বয়াকে একটি লোহার চেন দ্বারা বাঁধিয়া সমুদ্রের জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হইয়াছে। সমুদ্রের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব যদি 1·02 হয় এবং চেনের ওজন নগণ্য হয় তাহা হইলে চেনের উপর কি পরিমাণ টান পড়িবে ? (H. S. 1963)

উঃ। চেনের উপর টান=বয়ার-উপর সমুদ্রের জলের প্লবতা (যাহা খাড়া ঊর্ধ্বদিকে ক্রিয়া করিতেছে) – বয়ার ওজন (যাহা খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে)। অতএব টান $=1000\times1000\times1{\cdot}02-950\times1000=(10^6\times1{\cdot}02-950\times10^3)$ গ্রাম-ভার। অথবা, টান $=(10^3\times1{\cdot}02-950)$ কিলোগ্রাম-ভার $=70$ কিলোগ্রাম-ভার।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 9]

1. 272 গ্রাম ওজনের একটি লৌহখণ্ড পারদের মধ্যে (ঘনত্ব 13·6 গ্রাম প্রতি সি. সি-তে) তাহার আয়তনের 5/8 অংশ ডুবাইয়া ভাসিতেছে। লৌহখণ্ডের আয়তন ও ঘনত্ব নির্ণয় কর।

[**Ans.** আয়তন=32 সি. সি. ; ঘনত্ব 8·5 গ্রাম প্রতি সি. সি,তে]

2. একটি কঠিন তাহার আয়তনের $\frac{1}{6}$ অংশ জলের উপরে রাখিয়া ভাসিতেছে। তাহার আয়তনের কত অংশ একটি তরলের বাহিরে রাখিয়া ভাসিবে যখন তরলটির ঘনত্ব 1·2 গ্রাম/সি. সি.।

[**Ans.** $\frac{11}{36}$ অংশ তরলের বাহিরে থাকিবে]

3. 0·917 ঘনত্বের একটি বরফখণ্ড, 1·03 ঘনত্বের সমুদ্রজলে ভাসিতেছে। ইহার আয়তনের কত অংশ জলের বাহিরে আছে ? [**Ans.** ·11 অংশ]

4. দুইটি ধাতু মিশাইয়া একটি সংকর ধাতু তৈরী করা হইয়াছে যে দুইটি ধাতুর আপেক্ষিক গুরুত্ব 8 ও 12। 52 গ্রাম ওজনের সংকর ধাতুটির জলে ওজন 46 গ্রাম। সংকর ধাতুর মধ্যে ঐ ধাতু দুইটির পরিমাণ নির্ণয় কর। [**Ans.** একটি ধাতুর ওজন=40 গ্রাম, অপরটির ওজন=12 গ্রাম]

5. একটি বস্তুর বাতাসে ওজন 121·5 গ্রাম, A চিহ্নিত তরলে ওজন 106·11 গ্রাম এবং B চিহ্নিত তরলে ওজন 102·35 গ্রাম। তরল দুইটির সম-আয়তনের মিশ্রণে বস্তুর আপাত ওজন কত হইবে ?

[**Ans.** 104·23 গ্রাম]

6. হায়রো রাজার মুকুট সোনা ও রূপার মিশ্রণ দ্বারা তৈরী এবং বাতাসে ইহার ওজন 20 পাউণ্ড। আর্কিমিডিস্ ইহাকে জলের মধ্যে ডুবাইয়া ওজন করিয়া দেখিলেন ইহার ওজন 1·25 পাউণ্ড কম হইতেছে। মুকুটের মধ্যে সোনা এবং রূপা কি পরিমাণে ছিল ? সোনা এবং রূপার আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 19·3 ও 10·5। [**Ans.** সোনা=15·078 পাউণ্ড ; রূপা=4·922 পাউণ্ড]

7. দুইটি বস্তুকে একটি তুলার তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্ত হইতে জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে, তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক থাকে। একটি বস্তুর ভর 32 গ্রাম এবং ঘনত্ব 8 গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে হইলে অপরটির ভর কত হইবে, যদি তাহার ঘনত্ব 5 গ্রাম/সি. সি. হয় ? [**Ans.** 35 গ্রাম]

8. একটি ফাঁপা কাচের ছিপির বাতাসে ওজন 23·4 গ্রাম এবং জলে ওজন 3·9 গ্রাম। কাচের ঘনত্ব 2·6 গ্রাম/সি. সি. হইলে ছিপির মধ্যে শূন্যস্থানের আয়তন নির্ণয় কর। [**Ans** 10·5 সি সি.]

9. একটি সাধারণ তুলার, তুলাদণ্ডের দুইপ্রান্ত হইতে 17 গ্রাম সীসা এবং একটি গন্ধকের টুকরা জলের মধ্যে ঝুলাইয়া দিলে তুলাদণ্ড অনুভূমিক থাকে। জলের বদলে যদি উহাদিগকে অ্যালকোহলের মধ্যে ঝুলানো

যায় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে, তুলাদণ্ডের যে প্রান্ত হইতে সীসা ঝুলাইয়া দেওয়া হইয়াছে সেই প্রান্তের পাল্লায় আরও 1·4 গ্রাম বাটখারা চাপাইলে তুলাদণ্ডটি অনুভূমিক হইতেছে। যদি সীসার ঘনত্ব 11·33 গ্রাম/সি. সি. এবং অ্যালকোহলের ঘনত্ব ·9 গ্রাম/সি. সি. হয় তাহা হইলে গন্ধকের টুকরার ওজন কত ছিল? [Ans 31 গ্রাম]

10. একখণ্ড শোলাকে একটি ধাতুর সহিত বাঁধিয়া অ্যালকোহলের মধ্যে ছাড়িয়া দিলে উহা অ্যালকোহলের যে-কোন স্থানে থাকে। শোলা এবং ধাতুর ওজনের অনুপাত কি হইবে? [Ans. শোলা/ধাতু=9/23]

11. একখানি ইটের ওজন 5 কিলোগ্রাম এবং ইহার ঘনত্ব=1·5 গ্রাম/সি. সি.। ইহার অর্ধেকটা জলে ডুবাইলে ইহার ওজন কত হইবে? (H, S, 1963) [Ans, 10/3 kg.]

12. একটি বস্তু যখন জলে ভাসে তখন তাহার আয়তনের ·1 অংশ জলের উপরে থাকে কিন্তু কোন একটি তরলে উহাকে ভাসাইলে উহার আয়তনের ·2 অংশ তরলের উপরে থাকে। তরলের ঘনত্ব কত? (H. S. 1962) [Ans 1·125 গ্রাম/সি,সি.]

13. 8 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যের একটি চোঙাকৃতি পেন্সিল তাহার 3 ইঞ্চি জলের উপরে রাখিয়া খাড়াভাবে জলে ভাসিতেছে। উহাকে ·8 ঘনত্বের তরলে ভাসাইলে উহার কত দৈর্ঘ্য তরলের উপরে থাকিবে? (H, S. 1963) [Ans. 1·75 ইঞ্চি]

14. একটি মার্বেল বলের বাতাসে ওজন 142 গ্রাম এবং কোন একটি তরলের মধ্যে উহার ওজন 98·5 গ্রাম। মার্বেলের ঘনত্ব 2·84 গ্রাম/সি. সি. হইলে তরলের ঘনত্ব এবং মার্বেলের আয়তন কত হইবে? [Ans. ঘনত্ব=·87 গ্রাম/সি. সি.; আয়তন=50 সি. সি.]

15. 4 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যযুক্ত একটি ঘনকের পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব 12·5। জলের মধ্যে ইহার আপাত-ওজন কত হইবে? জলের ঘনত্ব=62·5 পাউণ্ড/ঘনফুট। [Ans. 26·62 পাউণ্ড]

16. একটি বীকারের অর্ধাংশে জল লইয়া ঐ জলসমেত বীকারকে তুলার বাম পাল্লায় রাখিলে, তুলাদণ্ডকে অনুভূমিক করিতে ডান পাল্লায় 100 গ্রামের বাটখারা চাপানোর প্রয়োজন হয়। এক্ষণে 2·5 সে.মি. বাহুবিশিষ্ট একটি ধাতুর ঘনককে বাহিরের একটি অবলম্বন হইতে বীকারের জলের মধ্যে এমনভাবে ডুবাইয়া দেওয়া হইল যাহাতে উহা বীকারকে স্পর্শ করিতে না পারে। তুলদণ্ডকে অনুভূমিক করিতে ডান পাল্লায় আর কত ওজন চাপাইতে হইবে। [Ans. 15·63 গ্রাম]

17. 21 পাউণ্ড ওজনের একটি লোহার টুকরাকে সূতাদ্বারা বাঁধিয়া উহার কিছু অংশ জলে ডোবান হইল। সূতা যদি মাত্র 20 পাউণ্ড-ভার টান সহ্য করিতে পারে তাহা হইলে লোহার টুকরার আয়তনের কত অংশ জলে ডুবাইলে সূতাটি টান সহ্য করিতে পারিবে? লোহার আপেক্ষিক গুরুত্ব=7·2। [Ans. লোহার আয়তনের প্রায় 1/3 অংশ]

18. একটি পাত্রের গভীরতা 20 সে.মি. এবং ইহা 1·25 গ্রাম/সি.সি. ঘনত্বের তরল দ্বারা ভর্তি করা হইল। 2·5 গ্রাম সি.সি. ঘনত্বের একটি বস্তুকে তরলের উপর আস্তে ছাড়িয়া দিলে উহা কত সময় পরে পাত্রের তলায় পৌঁছিবে? [Ans. 2/7 সেকেণ্ড]

সংকেত : [যদি δ এবং δ' যথাক্রমে বস্তুর এবং তরলের ঘনত্ব হয় এবং v বস্তুর বাহিরের আয়তন হয় তাহা হইলে,

$(v\delta - v\delta')g = v\delta f$; অথবা $f = \frac{(\delta - \delta')g}{\delta}$। বস্তুটি যদি d দূরত্ব অতিক্রম করে তাহা হইলে,

$$d = \tfrac{1}{2}ft^2 \text{ ; অথবা } t = \left(\frac{2d}{f}\right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{2d\,\delta}{(\delta - \delta')g}\right)^{\frac{1}{2}}।$$

অধ্যায় 10

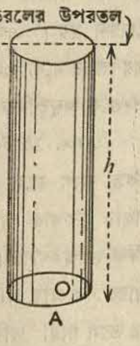
তরলের চাপ ও চাপ সঞ্চালন
[Pressure of liquids and transmission of liquid Pressure]

10-1. বল, ঘাত ও চাপের মধ্যে পার্থক্য (Difference between Force, Thrust and Pressure) ঃ

(*i*) **বল** (Force-F) ঃ নিউটনের দ্বিতীয় সূত্র হইতে বলের সংজ্ঞা পাওয়া যায়। m ভরযুক্ত কোন বস্তু যদি f ত্বরণে চলিতে থাকে তাহা হইলে তাহার উপর প্রযুক্ত বলের পরিমাণ হইবে $F=mf$। বল একটি ভেক্টর রাশি, ইহার পরিমাণ এবং অভিমুখ আছে। বল কোন বস্তুর তলের যে-কোন ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত থাকিয়া ঐ তলের অভিলম্বের দিকে কিংবা অন্য যে-কোনও দিকে ক্রিয়া করিতে পারে।

(*ii*) **ঘাত** (Thrust-T) ঃ ঘাতও একটি বল যাহা কোন পদার্থের তলের যে-কোন ক্ষেত্রফলের (A) উপর প্রযুক্ত থাকিয়া সর্বদা ঐ তলের অভিলম্বের দিকে ক্রিয়া করিবে। অতএব কোন পদার্থের তলের অভিলম্বের দিকে প্রযুক্ত বলকে **ঘাত** বলে।

(*iii*) **চাপ** (Pressure-P) ঃ চাপও একটি বল যাহা কোন পদার্থের তলের একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত থাকিয়া ঐ তলের অভিলম্বের দিকে ক্রিয়া করে। অতএব কোন পদার্থের তলের একক ক্ষেত্রফলের অভিলম্বের দিকে প্রযুক্ত বলকে **চাপ** বলে। অতএব, চাপ $P=$(ঘাত T)/তলের ক্ষেত্রফল $(A)=T/A$।



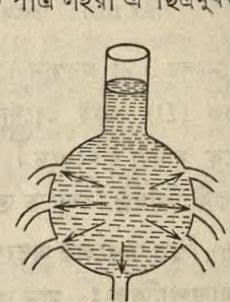
চিত্র 10.1 ঃ কোন বিন্দুতে তরলের চাপ

(*iv*) **তরলের মধ্যস্থ কোন এক বিন্দুতে চাপের পরিমাণ** (Pressure at a point within a liquid) ঃ তরলের মধ্যস্থ কোন এক বিন্দুর গভীরতাকে দৈর্ঘ্য লইয়া এবং ঐ বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া অঙ্কিত একটি একক ক্ষেত্রফলের অনুভূমিক বৃত্তকে প্রান্তভূমি লইয়া, যদি একটি চোঙ কল্পনা করা যায় তাহা হইলে ঐ চোঙের মধ্যস্থ তরলের ওজনই ঐ নির্দিষ্ট বিন্দুর চাপ হইবে।

গাণিতিক হিসাব ঃ—মনে কর ρ ঘনত্বের কোন তরলের মধ্যে O বিন্দু লওয়া হইল যাহার গভীরতা h [10.1 নং চিত্র]। O বিন্দুকে কেন্দ্র করিয়া A ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি অনুভূমিক বৃত্ত অঙ্কন করা হইল। এই বৃত্তের পরিধি হইতে কতকগুলি সরলরেখা তরলের উপরতল পর্যন্ত টানিলে একটি চোঙ গঠিত হইবে যাহার

দৈর্ঘ্য h এবং প্রান্তভূমির ক্ষেত্রফল A হইবে। এই চোঙের মধ্যে যে তরল থাকিবে তাহার ওজন হইবে $T=$ চোঙের আয়তন $(Ah)\times$ তরলের ঘনত্ব $(\rho)\times g=Ah\rho g=A$ ক্ষেত্রফলের উপর তরলের ঘাত। যদি তরলের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ π হয় তাহা হইলে A ক্ষেত্রফলের উপর মোট ঘাত $T=A(\pi+h\rho g)$। অতএব তরলের মধ্যস্থ O বিন্দুর উপর মোট চাপ $=P=\dfrac{\text{ঘাত }(T)}{\text{ক্ষেত্রফল }(A)}=\pi+h\rho g$ …(10-1a)

10-2. কোন পাত্রস্থ তরল সর্বদা পাত্রের লম্বের দিকে চাপ দেয় ঃ কয়েকটি ছিদ্রযুক্ত একটি পাত্র লইয়া ঐ ছিদ্রমুখগুলি বন্ধ করিয়া রাখা হইল। এক্ষণে ঐ পাত্র জল দ্বারা ভর্তি করিলে জল সাম্য অবস্থায় থাকিবে, অর্থাৎ জল বাহিরে আসিবে না। এইবার ছিদ্রমুখগুলি উন্মুক্ত করিলে জল বেগে বাহিরে আসিবে এবং জলের বেগের অভিমুখ পাত্রের তলের অভিলম্বের দিকে থাকিবে। ইহা দ্বারা জানা গেল যে, কোন পাত্রস্থ তরল সর্বদা পাত্রের তলের অভিলম্বের দিকে চাপ দেয় (10.2 নং চিত্র)।



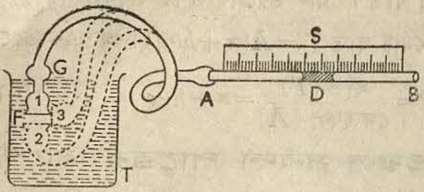
চিত্র 10.2 ঃ তরলের চাপ পাত্রের লম্বের দিকে

10-3. তরলের চাপের কতকগুলি বৈশিষ্ট্য দেখাইবার পরীক্ষা (Experimental demonstration of some characteristics of liquid-pressure) ঃ

যন্ত্র ঃ কাচের সরু নলের (AB) মধ্যে সামান্য পরিমাণ রঙিন জল (D) ঢুকাইয়া নলটিকে অনুভূমিকভাবে একটি স্কেলের (S) পাশে রাখা হইল (10.3 নং চিত্র)। এখানে রঙিন জল (D) সূচকের কাজ করিবে। একটি থিস্‌ল ফানেলের প্রশস্ত মুখ (F) একটি পাতলা রবারের পাত দ্বারা বন্ধ করিয়া ফানেলের সরুপ্রান্ত (G) এবং AB নলের A-প্রান্ত একটি লম্বা নমনীয় রবারের নল দ্বারা যুক্ত করা হইল। ফানেলের মুখের রবারের পাতের উপর আঙ্গুল দিয়া চাপ দিলে, পর্দা (F) এবং রঙিন জলের (D) মধ্যস্থ আবদ্ধ বায়ু সংকুচিত হইয়া রঙিন জলের সূচককে (D) সামনের দিকে ঠেলিয়া দিবে। কাজেই, কখনও যদি সূচককে (D) সামনের দিকে সরিয়া যাইতে দেখা যায় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ফানেলের মুখের পর্দার (F) উপর চাপ পড়িয়াছে।

(a) স্থির তরলের মধ্যস্থ কোনবিন্দুতে তরলের চাপ, সর্বদিকে সমান ঃ একটি বড় এবং গভীর পাত্র (T) জলপূর্ণ করিয়া ঐ জলের মধ্যে, রবারের পর্দাযুক্ত ফানেলের মুখকে নির্দিষ্ট গভীরতায় আনা হইল। দেখা গেল যে সূচক (D) সামনের দিকে নলের কিছু দৈর্ঘ্যের দ্বারা সরিয়া গেল। ইহা দ্বারা জানা গেল যে

তরল পদার্থের মধ্যে কোন বস্তু নিমজ্জিত থাকিলে তাহার উপর তরল চাপ প্রয়োগ করে। এক্ষণে ফানেলের মুখের রবারের পর্দার মধ্যবিন্দু, জলের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে রাখিয়া যদি ফানেলের মুখ নীচের দিকে (10.3 নং চিত্রে ফানেলের 1 নং অবস্থান), উপরের দিকে (10.3 নং চিত্রে ফানেলের 2 নং অবস্থান) এবং পাশের দিকে (10.3নং চিত্রে ফানেলের 3 নং অবস্থান) রাখা হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রেই সূচক (D) একই দৈর্ঘ্যের দ্বারা (যাহা স্কেল S হইতে পাওয়া যাইবে) সামনের দিকে সরিয়া যাইতেছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে, **তরল পদার্থের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে তরল সবদিকে সমপরিমাণে চাপ দেয়।**



চিত্র 10.3 : তরলের চাপের বৈশিষ্ট্য

(b) **স্থির তরলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে তরলের চাপ, ঐ বিন্দুর গভীরতার সমানুপাতিক :** মনে কর জলপূর্ণ পাত্রের (T) মধ্যস্থ দুইটি বিন্দু মনোনীত করা হইল যাহাদের গভীরতা h_1 ও h_2 ($h_2>h_1$) জানা আছে। এক্ষণে ফানেলের প্রশস্ত মুখকে (F) নীচের দিকে রাখিয়া উহার রবারের পর্দার মধ্যবিন্দু, পর পর h_1 ও h_2 গভীরতায় ডুবানো হইল এবং রঙিন জলের সূচকের (D) সরণ যথাক্রমে d_1 ও d_2 স্কেল (S) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। দেখা গেল যে $\frac{d_1}{d_2}=\frac{h_1}{h_2}$। কিন্তু সূচকের সরণ ($d$), ফানেলের পর্দার উপর তরলের চাপের (P) সমানুপাতিক। কাজেই আমরা লিখিতে পারি, $\frac{P_1}{P_2}=\frac{h_1}{h_2}=\frac{d_1}{d_2}$। অর্থাৎ, তরলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে তরলের চাপ, ঐ বিন্দুর গভীরতার সমানুপাতিক।

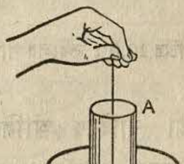
(c) **স্থির তরলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে তরলের চাপ তরলের ঘনত্বের সমানুপাতিক :** মনে কর পাত্রটিকে T প্রথমে জল (যাহার ঘনত্ব $\rho_1=1$ গ্রাম/সি. সি.) দ্বারা ভর্তি করা হইল। ফানেলের প্রশস্ত মুখকে (F) নীচের দিকে রাখিয়া উহার মধ্য বিন্দুকে, তরলের মধ্যস্থ একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে ডুবানো হইল যাহার গভীরতা ($=h$) জানা আছে। রঙিন জলের সূচকের সরণ d_1 স্কেল (S) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। এইবার পাত্রের জল ফেলিয়া দিয়া পাত্রটিকে কেরোসিন তেল (যাহার ঘনত্ব $=\rho_2=\cdot8$ গ্রাম/সি. সি.) দ্বারা ভর্তি করা হইল। এবারও ফানেলের প্রশস্ত মুখকে (F) নীচের দিকে রাখিয়া উহার মধ্য বিন্দুকে তেলের মধ্যে ঐ একই গভীরতায় ($=h$) ডুবানো হইল এবং রঙিন জলের সূচকের (D) সরণ d_2

স্কেল (S) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। দেখা যাইবে যে, $\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{d_1}{d_2}$। কিন্তু সূচকের সরণ ($d$) ফানেলের পর্দার উপর চাপের (P) সমানুপাতিক। কাজেই আমরা লিখিতে পারি, $\frac{P_1}{P_2}=\frac{d_1}{d_2}=\frac{\rho_1}{\rho_2}=\frac{1}{\cdot 8}$।

(d) **স্থির তরলের মধ্যস্থ একটি অনুভূমিক তরলের উপর তরলের চাপ সর্বত্র সমান :** পাত্রটিকে (T) জল দ্বারা ভর্তি করিয়া ফানেলের প্রশস্ত মুখকে (F) নীচের দিকে রাখিয়া, ফানেলের পর্দার মধ্যবিন্দুকে জলের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট গভীরতায় ডুবানো হইল। রঙিন জলের সূচকের (D) বিচ্যুতি বা সরণ স্কেল (S) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। এইবার ফানেলের পর্দার মধ্যবিন্দুকে তরলের মধ্যস্থ বিন্দুর অনুভূমিক তলের বিভিন্ন স্থানে লইয়া গেলেও সূচকের বিচ্যুত অবস্থার কোনরূপ পরিবর্তন দেখা যায় না। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে তরলের মধ্যস্থ কোন অনুভূমিক তলের উপর তরলের চাপ সর্বত্র সমান।

10-4. তরলের চাপের বৈশিষ্ট্যগুলি দেখাইবার কতকগুলি স্বতন্ত্র পরীক্ষা (Demonstration of the characteristics of liquid-pressure by individual experiments):

(a) **তরলের ঊর্ধ্ব ও নিম্নচাপ দেখাইবার পরীক্ষা :** (i) একটি লম্বা মোটা কাচের পাত্রের (G) অর্ধেকের কিছু বেশী অংশে জল লওয়া হইল। দুইমুখ খোলা একটি কাচের নল (AB) লইয়া উহার নীচের মুখ (B) একটি আংটাযুক্ত ধাতব চাকৃতি দ্বারা জলরোধক-ভাবে বন্ধ করা হইল। চাকৃতির আংটায় বাঁধা সূতাকে টান করিয়া ধরিয়া চাকৃতি সমেত চোঙের নিম্নপ্রান্ত (B) জলের মধ্যে কিছুদূর ডোবান হইল [10·4 নং চিত্র]। এইবার সূতাকে ঢিল দিলে দেখা যাইবে যে চাকৃতির উপর জলের ঊর্ধ্বচাপ প্রযুক্ত থাকায় চাকৃতিটি পড়িয়া যাইতেছে না। অতএব **কোন তরলে নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরল ঊর্ধ্বচাপ প্রয়োগ করে।**

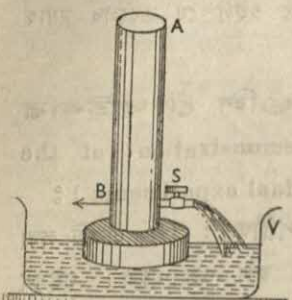


চিত্র 10.4 : তরলের ঊর্ধ্ব ও নিম্নচাপ

(ii) এক্ষণে AB নলের মধ্যে রঙিন জল আস্তে আস্তে ঢালিতে থাকা হইল এবং দেখা গেল যে নলের মধ্যস্থ রঙিন জলের তল যখন বাহিরের জলের তলের প্রায় সমান হইবে তখন চাকৃতি নীচে পড়িয়া যাইবে [ভিতরের জলকে বাহিরের জল হইতে পৃথক করিয়া দেখিবার জন্য AB নলে রঙিন জল লওয়া

হইয়াছে। AB নলের মধ্যস্থ রঙিন জলের নিম্নচাপ এবং চাক্তির ওজন যখন একত্রে চাক্তির উপর বাহিরের জলের ঊর্ধ্বচাপের সমান হইবে তখন চাক্তিটি নীচে পড়িয়া যাইবে]। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে, **তরলে নিমজ্জিত বস্তুর উপর** (এখানে ধাতব চাক্তি) **তরল** (যে রঙিন জল AB নলের মধ্যে আছে) **যে নিম্নচাপ প্রয়োগ করে তাহা নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরলের ঊর্ধ্বচাপের সমান।**

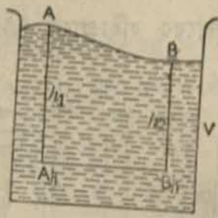
(*b*) **তরলের পার্শ্বচাপ দেখাইবার পরীক্ষা :**—এই পরীক্ষার জন্য একটি পাতলা টিনের চোঙ (AB) লওয়া হইল যাহার উপরের মুখ (A) খোলা এবং নীচের মুখ (B) বন্ধ। চোঙের নিম্নপ্রান্তের দেওয়ালের গায়ের একটি ছিদ্রে স্টপকক যুক্ত (S) নল লাগানো আছে। এই চোঙকে একটি মোটা শোলার কর্কের উপর খাড়াভাবে বসাইয়া চোঙ সমেত কর্ককে একটি পাত্রের (V) জলে ভাসাইয়া দেওয়া হইল। চোঙের নীচের স্টপকক্ (S) বন্ধ রাখিয়া চোঙকে জল দ্বারা পূর্ণ করিলে উহা কর্কসমেত পাত্রের জলে স্থির হইয়া ভাসিতে থাকিবে। চোঙের মধ্যস্থ জল চোঙের ভিতরের বিপরীত দেওয়ালে সমান এবং বিপরীতমুখী চাপ দেওয়ায় উহারা পরস্পরকে প্রশমিত করিতেছে। এজন্য চোঙের উপর কোন লব্ধি বল না থাকায় উহা স্থির হইয়া ভাসিতেছে। এইবার স্টপকক্ (S) খুলিয়া দিলে, জল স্টপকক্-যুক্ত নল দিয়া প্রবাহিত হইয়া বাহিরে আসিবে এবং ইহার ফলে নল-সংলগ্ন দেওয়ালে জলের আর কোনরূপ পার্শ্বচাপ থাকিবে না। কিন্তু উহার বিপরীত দেওয়ালে জলের পার্শ্বচাপ অপরিবর্তিত থাকায় ঐ চাপের ক্রিয়ায় ভাসমান চোঙটি SB অভিমুখে চলিতে থাকিবে (10·5 নং চিত্র)। ইহা দ্বারা প্রমানিত হইল যে তরলের পার্শ্বচাপ আছে।



চিত্র 10.5 : তরলের পার্শ্বচাপ

(*c*) **স্থির তরলের উপরতল সর্বদা অনুভূমিক থাকে** (Free surface of a liquid at rest is always horizontal) :—তরল যখন স্থির থাকে তখন উহার উপরতল অনুভূমিক থাকাই সাধারণ নিয়ম। যদি আমরা ধরিয়া লই V পাত্রের তরলের উপরতল (AB) অনুভূমিক নয় তাহা হইলে তরলের মধ্যস্থ কোন অনুভূমিক তল (A_1B_1) হইতে তরলের উপরতলে অবস্থিত A ও B বিন্দুদ্বয়ের উচ্চতা সমান না হইয়া যথাক্রমে h_1 ও h_2 ($h_1 > h_2$) হইবে। কাজেই তরলের

মধ্যস্থ অনুভূমিক তলের A_1 ও B_1 বিন্দুতে তরলের চাপ যথাক্রমে $P_1 = h_1\rho g$ এবং $P_2 = h_2\rho g$ হইবে (এখানে ρ = তরলের ঘনত্ব) [10·6 নং চিত্র]। যেহেতু $h_1 > h_2$ সেই হেতু $P_1 > P_2$। কিন্তু তরল সর্বদা উচ্চচাপের স্থান (A) হইতে নিম্নচাপের স্থানে (B) প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ না ঐ দুই বিন্দুর চাপ সমান হয়। A_1 ও B_1 বিন্দুদ্বয়ের উপর চাপ সমান হইবে যখন $h_1 = h_2$ হইবে। কাজেই তরল স্থির অবস্থায় আসিলে, তরলের উপরতল (AB) তরলের মধ্যস্থ অনুভূমিক তলের (A_1B_1) সমান্তরাল হইবে। অর্থাৎ, তরলের উপরতল অনুভূমিক হইবে।

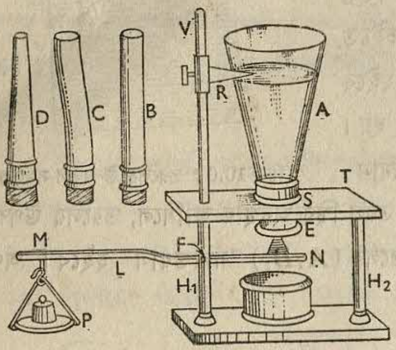


চিত্র 10.6 : তরলের উপরতল সমতল

10-5. কোন তরলপূর্ণ পাত্রের তলদেশের উপর ঘাত, কেবলমাত্র তরলের উচ্চতা এবং তলদেশের ক্ষেত্রফলের উপর নির্ভর করে (Thrust exerted by a liquid on the base of a vessel depends only on the height of the liquid and area of the base) : 10-1 পরিচ্ছেদের (*iv*) দফার গাণিতিক হিসাবে আমরা দেখিতে পাই যে ρ ঘনত্বের কোন তরলের h গভীরতায়, A ক্ষেত্রফলযুক্ত কোন সমতলকে অনুভূমিক অবস্থায় ডুবাইয়া রাখিলে তাহার উপর তরলের ঘাত হইলে $T = Ah\rho g$। ঘাতের এই পরিমাণ হইতে বুঝা যাইতেছে যে বিভিন্ন পাত্রের উচ্চতা (h) এবং তলদেশের ক্ষেত্রফল (A) এক হইলে উহাদিগকে নির্দিষ্ট ঘনত্বের (ρ) তরল দ্বারা ভর্তি করিলে প্রত্যেক পাত্রের তলদেশে একই পরিমাণ ঘাত হইবে, যদিও পাত্রগুলির উপরাংশের আকার, আয়তন এবং প্রস্থচ্ছেদ বিভিন্ন হইতে পারে। এই ঘটনা আমাদের কাছে অবিশ্বাস্য বলিয়া মনে হয় বলিয়া ইহাকে **উদ্‌স্থৈতিক কুট** (hydrostatic paradox) বলে। ইহা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে।

পরীক্ষা : এই পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহা 10.7 নং চিত্রে দেখান হইল। ইহাতে A, B, C ও D চারিটি দুই মুখ খোলা নল আছে যাহাদের সকলেরই দৈর্ঘ্য এবং তলদেশের ক্ষেত্রফল সমান কিন্তু উপরাংশের আকার, আয়তন এবং প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল বিভিন্ন নলে বিভিন্ন। প্রত্যেক নলের নীচে স্ক্রু-প্যাঁচ কাটা আছে যাহার সাহায্যে প্রত্যেক নলকে একটি অনুভূমিক কাঠের পাটাতনের (T) মধ্যের ছিদ্রের (S) প্যাঁচের সঙ্গে আটকানো যায়। কাঠের পাটাতন (T)

যে দুইটি উল্লম্ব থামের (H_1 ও H_2) উপর বসানো আছে তাহার একটির (H_1) উপরে অবস্থিত F বিন্দুকে আলম্ব করিয়া একটি ধাতব লীভার (L) ঘুরিতে পারে। এই লীভারের বহিঃপ্রান্তে (M) একটি পাল্লা (P) লাগানো আছে যাহার উপর ভার চাপানো যাইতে পারে। লীভারের অপর প্রান্তে (N) একটি ধাতব চাকৃতি (E) আছে যাহা কাঠের পাটাতনে আটকানো নলের নীচের মুখকে জল নিরোধক ভাবে আটকাইয়া রাখিতে পারে। কাঠের পাটাতনের একপাশে একটি সরু উল্লম্ব দণ্ড (V) লাগানো আছে যাহার দৈর্ঘ্য বরাবর একটি কাঁটাকে (R) উঠানো বা নামানো বা স্থির রাখা যায়।



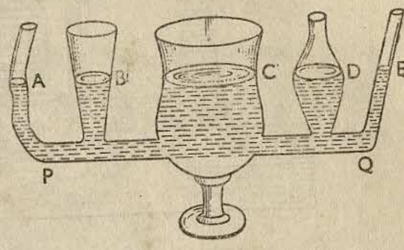
চিত্র 10.7 : উদ্‌স্থৈতিক কূট

A নলের নীচের মুখ পাটাতনের S-ছিদ্রের মধ্যে আটাকাইয়া P-পাল্লার উপর কিছু ভার চাপাইয়া A-এর নীচের মুখ ধাতব চাকৃতি (E) দ্বারা বন্ধ করা হইল। এখন নলটির মধ্যে জল ঢালিতে থাকিলে চাকৃতি E-এর উপর ঘাত-ক্রমশঃ বাড়িতে থাকিবে এবং নলের মধ্যের জল যখন একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় আসিবে তখন চাকৃতিটা নীচের দিকে নামিয়া যাইবে এবং কিছু জল বাহির হইয়া যাইবে। নলের মধ্যে জল যে উচ্চতায় আসিলে চাকৃতি E সবেমাত্র নীচে নামিয়া যায় সেই উচ্চতায় R কাঁটাকে তুলিয়া স্থির রাখিয়া দেওয়া হইল। P-পাল্লার উপর একই ভার রাখিয়া B, C ও D নল পরপর S-ছিদ্রে লাগাইয়া উপরের পরীক্ষার পুনরাবৃত্তি করিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে জল R-কাঁটার অবস্থান পর্যন্ত উঠিলেই নীচের E চাকৃতি সরিয়া কিছু জল বাহির হইয়া আসিতেছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে নলগুলির তলদেশের ক্ষেত্রফল এবং নলের মধ্যস্থ জলের উচ্চতা ঠিক থাকিলে নলের তলদেশের উপর জলের ঘাত নলের উপরাংশের গঠনের উপর নির্ভর করে না। এই ঘটনাকে **উদ্‌স্থৈতিক কূট** (hydrostatic paradox) বলে।

10-6. তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্ম দেখাইবার পরীক্ষা (Experiment to show that liquid finds its own level) ঃ বিভিন্ন আকারের ও আয়তনের কতকগুলি পরস্পর-সংযুক্ত পাত্রের যে-কোন একটিতে তরল ঢালিলে সেই তরল অন্যান্য পাত্রেও প্রবাহিত হইবে এবং তরল স্থির অবস্থায়

আসিলে, প্রত্যেক পাত্রের তরলের উপরতল একই অনুভূমিক সমতলে থাকিবে। তরলের এই ধর্মকে **সমোচ্চশীলতা** ধর্ম বলে।

পরীক্ষা ঃ 10.8 নং চিত্রে, $A, B, C, D,$ ও E প্রভৃতি বিভিন্ন আকারের ও আয়তনের পাত্রকে লওয়া হইয়াছে যাহাদের নীচে একটি সংযোগ-রক্ষাকারী নল PQ আছে। C পাত্রের মধ্যে জল ঢালিলে ঐ জল সংযোগ-রক্ষাকারী নলের মধ্য দিয়া বিভিন্ন পাত্রে প্রবেশ করিবে। জল ঢালা যখন বন্ধ করা হইবে তখন দেখা যাইবে যে, সব পাত্রের জলের উপরতল একটি অনুভূমিক সমতলে অবস্থান করিতেছে।



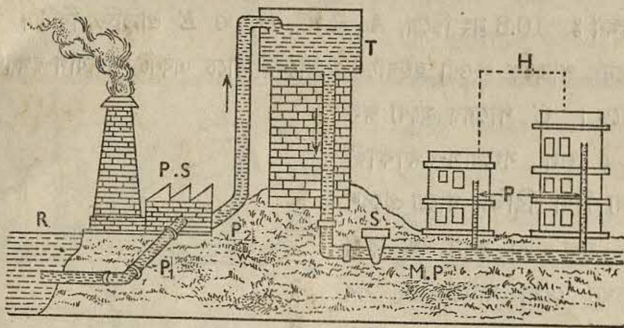
চিত্র 10.8 ঃ তরলের সমোচ্চশীলতা

এই পরীক্ষা দ্বারা তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের প্রমাণ পাওয়া গেল।

ব্যাখ্যা ঃ—পাত্রগুলির সংযোগ-রক্ষাকারী নলের তরলের মধ্যে একটি অনুভূমিক সরলরেখা PQ কল্পনা করিলে ঐ সরলরেখার সমস্ত বিন্দুতে তরলের চাপ সমান হইবে [10-3 পরিচ্ছেদের (d) অংশ দেখ]। কিন্তু তরলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে চাপের পরিমাণ $= P = h\rho g$। প্রত্যেক পাত্রে একই তরল থাকায় উহাদের ঘনত্ব ρ একই থাকিতেছে। কাজেই অনুভূমিক রেখা PQ হইতে প্রত্যেক পাত্রের তরলের উপরতলের উচ্চতা h একই থাকিবে। PQ যখন অনুভূমিক তলে রহিয়াছে তখন প্রত্যেক পাত্রের তরলের উপরতলও PQ-এর সমান্তরাল অনুভূমিক তলে থাকিবে।

10-7. তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of the property—'liquid finds its own level') ঃ (a) **শহরের জল সরবরাহ ঃ**—বড় বড় শহরের পৌর প্রতিষ্ঠানগুলি যে পদ্ধতিতে শহরে পানীয় জল সরবরাহ করে তাহাতে তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের প্রয়োগ দেখা যায় [10.9 নং চিত্র]। পাম্পিং স্টেশনের ($P.S.$) শক্তিশালী পাম্পের সাহায্যে একটি জলাশয়ে (R) রক্ষিত পরিস্রুত ও জীবাণুমুক্ত জলকে একটি মোটা পাইপের (P_1) মধ্য দিয়া টানিয়া আনিয়া অপর একটি মোটা পাইপের (P_2) সাহায্যে শহরের লেভেলের অনেক উঁচুতে রক্ষিত একটি ট্যাঙ্কে (T) তোলা হয়। সাধারণতঃ কোন নিকটবর্তী নদী বা হ্রদের জলকে পরিস্রুত এবং জীবাণুমুক্ত করিয়া ঐ জলকে জলাশয়ে (R) সঞ্চয় করিয়া রাখা হয়। উপরের

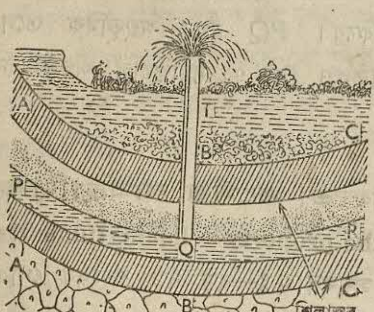
ট্যাঙ্কের সহিত রাস্তার মোটা পাইপের ($M.P.$) যোগাযোগ থাকে। ট্যাঙ্কের কল (S) খুলিয়া দিলে উহার জল প্রবাহিত হইয়া রাস্তার মোটা পাইপে ($M.P.$) আসে



চিত্র 10.9 : শহরের জল সরবরাহ

এবং সেখান হইতে সরু নল দ্বারা (P) বাড়ীতে বাড়ীতে জল সরবরাহ করা হয় [10·9 নং চিত্র]।

(b) **আর্টেজিয়ান কূপ** (Artesian well):—পৃথিবীর ভূ-ত্বকের স্তরগুলি অনেক স্থলেই বাঁকা এবং উপরের দিকে অবতল আকার ধারণ করে। এই স্তরগুলির কোন কোনটি (ABC) শিলা, শ্লেট, কাদা প্রভৃতি দ্বারা তৈরী যাহাদের মধ্যে জল প্রবেশ করিতে পারে না। আবার কোন কোন স্তর (PQR) বালি প্রভৃতি দ্বারা তৈরী যাহার মধ্যে জল সহজেই প্রবেশ করিতে পারে [10.10 নং চিত্র]। দুইটি শিলাস্তরের (ABC) মধ্যে যদি একটি বালির স্তর (PQR) থাকে তাহা হইলে ঐ অবতল স্তরের মুখে (P ও R) যে জলজমে তাহা ঐ স্তরের মধ্যভাগে আসিয়া জমা হয় কিন্তু উপরে এবং নীচে শিলাস্তর (ABC) থাকায় ঐ জল উপরেও উঠিতে
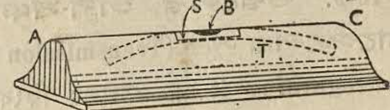


চিত্র 10.10 : আর্টেজিয়ান কূপ

পারে না কিংবা নীচেও যাইতে পারে না। বালির স্তরের মুখগুলি (P ও R) ভূ-পৃষ্ঠে উন্মুক্ত হয় এবং ভূ-পৃষ্ঠে যে জল জমে সেই জল চোঁয়াইয়া ঐ স্তরের (PQR) মধ্যভাগে জমা হয়। এক্ষণে ঐ বাঁকা স্তরের (PQR) মধ্যভাগে কোন নল (TBQ) বসাইলে তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের জন্য ঐ স্তরের জল নল বাহিয়া উপরে উঠে এবং ফোয়ারা আকারে নির্গত হয়।

(*c*) **সাধারণ নলকূপ** (Common tube well) :—সাধারণ টিউব ওয়েলের নল প্রবেশ্য স্তরের জলে প্রবেশ করানো হয়। কিন্তু আর্টেজিয়ান কূপের জলশীর্ষ যেমন ভূ-পৃষ্ঠের উপরে থাকে টিউব ওয়েলের জলশীর্ষ ভূ-পৃষ্ঠের উপরে না থাকিয়া উহার নীচে থাকে। কাজেই টিউব ওয়েলের নল দিয়া যে জল ওঠে তাহা ভূ-পৃষ্ঠে পৌঁছায় না। সেজন্য নলের এই জলকে ভূপৃষ্ঠে আনিতে পাম্পের সাহায্য লওয়া হয়।

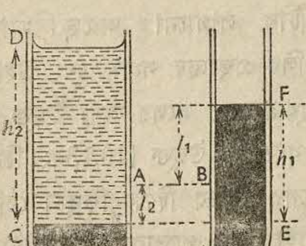
(*d*) **স্পিরিট লেভেল** (Spirit level) :—ইহার কার্যও তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের উপর প্রতিষ্ঠিত। ইহাতে একটি ছোট সামান্য বাঁকানো কাচের নল (T) আছে যাহার মধ্যে অল্প পরিমাণ বায়ু রাখিয়া অবশিষ্ট স্থান অ্যালকোহল দ্বারা ভর্তি করা থাকে। এই কাচের নলকে একটি পিতলের আবরণের (AC) মধ্যে রাখা হয় যাহার নীচতল সমতল এবং উপরতলের কিছু অংশ (S) উন্মুক্ত রাখা হয়। এই যন্ত্রটির যে দিক উঁচু থাকিবে কাচ-নলের মধ্যস্থ বায়ুর বুদ্বুদটি (B) সেইদিকে সরিয়া যাইবে। যন্ত্রটি যখন অনুভূমিক সমতলে অবস্থান করিবে তখন বায়ুর বুদ্বুদটি (B) উপরের কাটা অংশের (S) মধ্যভাগে থাকিবে [10.11নং চিত্র]। কাজেই এই যন্ত্রের সাহায্যে কোন সমতলের অনুভূমিক অবস্থা সহজেই স্থির করা যায়।



চিত্র 10.11 : স্পিরিট লেভেল

10-8. একটি U-আকৃতির নলে দুইটি অমিশ্রণীয় তরলের সাম্য অবস্থা (Equilibrium of two immicible liquids in a U-tube) :

মনে কর একটি U-আকৃতির নল লওয়া হইল যাহার মোটা বাহুর (CD) প্রস্থচ্ছেদ α_2 এবং সরু বাহুর (EF) প্রস্থচ্ছেদ α_1 [10.12 নং চিত্র]। ঐ U-নলে ρ_1 ঘনত্বের একটি তরল (ধরা যাক্ পারদ) ঢালিলে দুই বাহুতে ঐ তরলের উপরতল একটি অনুভূমিক সমতলে (AB) থাকিবে। এক্ষণে V আয়তনের এবং ρ_2 ঘনত্বের দ্বিতীয় একটি তরল মোটা নলে ঢালা হইল। যদি এই দ্বিতীয় তরল মোটা নলের h_2 দৈর্ঘ্যের মধ্যে থাকে তাহা হইলে আমরা লিখিতে পারি $V = h_2\alpha_2$ ...(10-8*a*)



চিত্র 10.12 : তরলের সাম্য অবস্থা

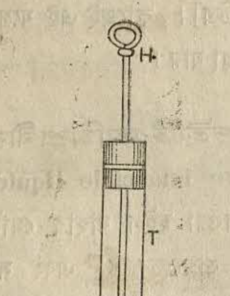
দ্বিতীয় তরলের চাপে যদি প্রথম তরল (যাহার ঘনত্ব ρ_1) মোটা নলের A বিন্দু হইতে l_2 দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামে তাহা হইলে উহা সরু নলের B বিন্দু হইতে l_1 দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিবে। কাজেই যে আয়তনের প্রথম তরল মোটা নল হইতে সরু নলে প্রবেশ করিয়াছে তাহার আয়তন হইবে, $v = l_2\alpha_2 = l_1\alpha_1$ (10-8b)

আবার দুই তরলের স্পর্শতল C হইতে একটি অনুভূমিক তল CE টানিলে উহার সর্বস্থানে চাপ সমান হইবে। অর্থাৎ $h_2\rho_2 = h_1\rho_1 = (l_1+l_2)\rho_1$ ... (10-8c)

উপরের তিনটি সমীকরণ হইতে অমিশ্রণীয় দুই তরলের সাম্য অবস্থা নির্ণয় করা যাইবে।

10-9. তরলের চাপ-সঞ্চালন এবং তৎসংক্রান্ত প্যাস্কেলের সূত্র (Transmission of liquid pressure and Pascal's law regarding it) ঃ তরলের কিংবা গ্যাসীয় পদার্থের কোন স্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে সেই চাপ সর্বদিকে সমান মানে সঞ্চালিত হয়। এই সম্বন্ধে প্যাস্কেলের যে সূত্রটি আছে তাহা নিম্নে বিবৃত হইল।

প্যাস্কেলের সূত্র ঃ—কোন বদ্ধ পাত্রে অবস্থিত তরল (বা বায়বীয়) পদার্থের কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করিলে, ঐ চাপের মান অপরিবর্তিত থাকিয়া উহা তরলের (বা বায়বীয় পদার্থের) মধ্য দিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হয় এবং ধারক পাত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

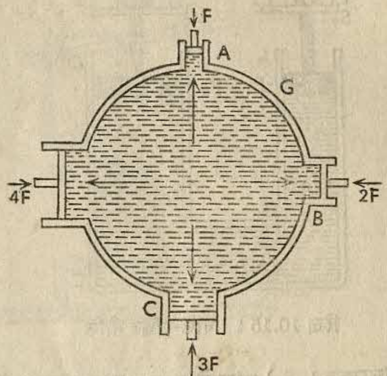


চিত্র 10.13 ঃ চাপ-সঞ্চালন দেখাইবার পরীক্ষা

পরীক্ষা ঃ (*a*) জলভর্তি একটি ফ্লাস্কের (F) নলের (T) জলের উপর একটি জলনিরুদ্ধ পিস্টন (P) বসানো আছে। ফ্লাস্কের দুইটি অনুভূমিক লম্ব-ব্যাসের বিপরীত প্রান্তে চারিটি U-আকৃতির পারদ-ম্যানোমিটার লাগানো আছে। ম্যানোমিটারের নলগুলির প্রস্থচ্ছেদ সমান এবং উহাদের ছোট বাহুর মুখ ফ্লাস্কের জলের মধ্যে উন্মুক্ত এবং বড় বাহুর মুখ বাতাসে উন্মুক্ত [10.13নং চিত্র]। পিস্টনটিকে নলের ভিতর দিকে কিছুটা ঠেলিয়া দিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ম্যানোমিটারের বাহিরের নলে পারদতল সমান দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে তরলের একস্থানে চাপ প্রয়োগ করিলে উহা সর্বদিকে সমভাবে সঞ্চালিত হয়।

(*b*) একটি জলপূর্ণ গোলাকার পাত্রের (G) দুইটি অনুভূমিক লম্ব ব্যাসের দুই-প্রান্তে চারিটি বিভিন্ন আকারের ছিদ্র আছে। ঐ ছিদ্রমুখগুলি বিভিন্ন আকারের

চারিটি জলনিরুদ্ধ পিস্টন দ্বারা বন্ধ করা আছে [10.14 নং চিত্র]। A পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যদি α হয় তাহা হইলে B, C ও D পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 2α, 3α এবং 4α হইবে। A পিস্টনকে F বল দ্বারা ভিতরের দিকে ঠেলিয়া দিলে উহা দ্বারা জলের উপর যে চাপ প্রযুক্ত হইবে তাহার পরিমাণ $p = F/\alpha$। দেখা যাইবে যে A পিস্টন দ্বারা প্রযুক্ত চাপ, জলের সর্বদিকে সঞ্চালিত হইয়া অন্যান্য পিস্টনের (B, C ও D) লম্বের দিকে ক্রিয়া করিতেছে যাহার ফলে ঐ সব পিস্টনগুলি (B, C ও D) বাহিরের দিকে সরিয়া আসিতেছে।

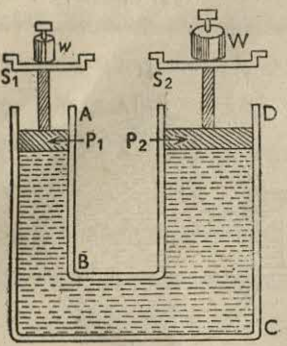


চিত্র 10.14 : সমমানে চাপ-সঞ্চালন

B, C ও D পিস্টনগুলিকে স্থির রাখিতে হইলে বাহির হইতে উহাদের উপর যথাক্রমে $2F$, $3F$ ও $4F$ বল প্রয়োগ করিতে হইবে। অর্থাৎ, B, C ও D পিস্টনের উপরও চাপ যথাক্রমে $2F/2\alpha = p$, $3F/3\alpha = p$ এবং $4F/4\alpha = p$ হইতেছে। অতএব, তরলের কোনও স্থানে p পরিমাণ চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ চাপের মান অপরিবর্তিত থাকিয়া সর্বদিকে এবং তরল-পাত্রের লম্বদিকে সঞ্চালিত হইতেছে। ইহা দ্বারা প্যাস্কেলের সূত্রের সত্যতা নির্ধারিত হইল।

10-10. প্যাস্কেলের সূত্রের প্রমাণ ও ঘাত-বৃদ্ধির নীতি (Verification of Pascal's law and deduction of the principle of multiplication of thrust from the law) ঃ একটি U-আকৃতির নল লওয়া হইল যাহার AB বাহু সরু এবং CD বাহু খুব মোটা। এই U-নলকে আংশিকভাবে জল দ্বারা ভর্তি করিয়া ঐ দুই বাহুর জলের উপরতলে দুইটি জলনিরুদ্ধ পিস্টন বসানো হইল [10.15 নং চিত্র]। সরু বাহুর (AB) জলের উপরে যে পিস্টন P_1 আছে তাহার সহিত যুক্ত S_1 পাত্রের উপর w পরিমাণ ভার স্থাপন করা হইল। এই ভারের (w) জন্য সরু পাত্রের জলের উপর যে চাপ প্রযুক্ত হইল তাহা U-নলের জলের মধ্য দিয়া সঞ্চালিত হইয়া মোটা নলের (CD) জলের উপর স্থাপিত P_2 পিস্টনকে উপরের দিকে ঠেলিয়া তুলিবে। এক্ষণে P_2 পিস্টনের সহিত যুক্ত S_2 পাত্রের উপর W পরিমাণ ভার স্থাপন করা হইল যাহাতে সঞ্চালিত চাপের ক্রিয়ায় P_2 পিস্টনের উপরের দিকে উঠিবার চেষ্টা বন্ধ হয়। যদি U-নলের সরুবাহুর (AB) পিস্টনের (P_1) প্রস্থচ্ছেদ α হয় এবং মোটা বাহুর (CD)

পিস্টনের (P_2) প্রস্থচ্ছেদ β হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে, পিস্টন দুইটি সাম্য অবস্থায় থাকিলে w/α এবং W/β সমান হইতেছে। অর্থাৎ ছোট পিস্টনের উপর চাপ w/α = বড় পিস্টনের চাপ W/β। এই সমীকরণ হইতে বোঝা গেল যে, P_1 পিস্টনের উপর প্রযুক্ত চাপ ($=w/\alpha$) তাহার মান অপরিবর্তিত রাখিয়া তরলের সর্বদিকে সমানভাবে সঞ্চালিত হইতেছে। কারণ P_2 পিস্টনের উপর যে চাপ ($=W/\beta$) প্রযুক্ত হইতেছে তাহা (w/α)-এর সমান। ইহা দ্বারা প্যাস্কেলের সত্যতা নির্ধারিত হইল।



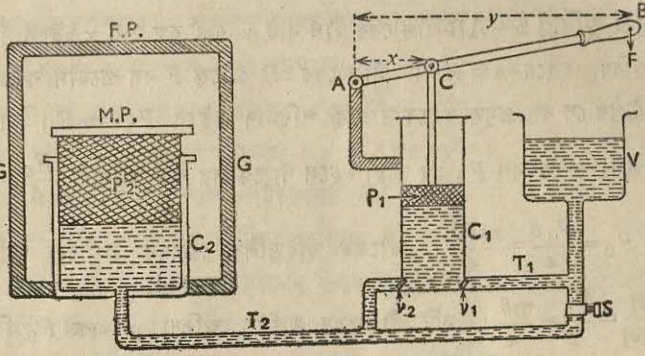
চিত্র 10.15 : ঘাত-বৃদ্ধির নীতি

আবার P_2 পিস্টনের উপর যে বল প্রযুক্ত হইল তাহার পরিমাণ হইবে $W=\beta w/\alpha$। অতএব যদি P_2 পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ (β) বাড়াইয়া দেওয়া হয় এবং P_1 পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ (α) কমাইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে P_1 পিস্টনের উপর অল্প বল (w) প্রয়োগ করিয়া P_2 পিস্টনের উপর বলের পরিমাণ (W) বহুগুণ বৃদ্ধি করা যায়। অতএব প্যাস্কেলের সূত্রকে, **তরল পদার্থের মাধ্যমে চাপ-সঞ্চালন দ্বারা ঘাত-বৃদ্ধির সূত্রও বলা যাইতে পারে।**

10-11. হাইড্রলিক প্রেস (Hydraulic Press) ঃ প্যাস্কেলের সূত্র হইতে, তরলে চাপ-সঞ্চালন দ্বারা যে ঘাত-বৃদ্ধির নীতি স্থির হইয়াছে তাহার প্রয়োগ দ্বারা হাইড্রলিক প্রেস গঠিত হইয়াছে।

গঠন ঃ—ইহাতে C_1 ও C_2 দুইটি চোঙ আছে যাহাদের তলদেশ T_2 নল দ্বারা সংযোগ করা আছে [10.16 নং চিত্র]। C_2 নলের প্রস্থচ্ছেদ ($=\beta$) C_1 নলের প্রস্থচ্ছেদ ($=\alpha$) অপেক্ষা বহুগুণ বেশী। C_1 ও C_2 চোঙ দুইটির মধ্যে দুইটি নিরেট লোহার জলনিরুদ্ধ গতিশীল পিস্টন যথাক্রমে P_1 ও P_2 উঠানামা করিতে পারে। P_1 পিস্টনকে একটি দ্বিতীয় শ্রেণীর লীভারের (AB) C বিন্দুতে সংযুক্ত করা আছে। এই লীভারের আলম্ব (fulcrum) A, দীর্ঘ বাহু $=y$ এবং হ্রস্ব বাহু $=x$। P_2 পিস্টনের উপর একটি লোহার পাত ($M. P.$) আটকানো আছে এবং যে দ্রব্যের উপর চাপ প্রয়োগ করিতে হইবে তাহাকে এই পাতের ($M.P.$) উপর বসানো হয়। C_2 চোঙের গায়ে দুইটি লোহার স্তম্ভ (G, G) আটকানো আছে যাহার উপরে আর একটি লোহার পাত ($F. P.$) দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত করা আছে। C_1 চোঙের নীচে দুইটি ভাল্‌ভ (valve) v_1 ও v_2 আছে যাহারা জলের চাপে খুলিতে কিংবা বন্ধ হইতে পারে। একটি জলপূর্ণ বড় চৌবাচ্চা (V) আছে যাহার

জলকে T_1 নলের সাহায্যে C_1 চোঙের পিস্টনের নীচে আনা যায় এবং এই জলকে T_2 নলের সাহায্যে P_2 পিস্টনের নীচেও পাঠান যায়। P_2 পিস্টনের নীচের জলকে V জলাধারে ফিরাইয়া লইবার জন্য একটি স্টপকক্ (S) আছে। এই স্টপকক্



চিত্র 10.16 : হাইড্রলিক প্রেস

খুলিলে P_2 পিস্টনের চাপে উহার নীচের জল T_2 নলের মধ্য দিয়া V জলাধারে চলিয়া যাইবে। কিন্তু স্টপকক্ (S) বন্ধ থাকিলে V জলাধারের জল কেবলমাত্র T_1 নল দিয়া C_1 চোঙের নীচে যাইতে পারিবে (যদি v_1 ভাল্ভ খোলা থাকে)।

কার্য-প্রণালী :—ইহার ক্রিয়া বুঝাইতে মনে করা যাক্ P_1 ও P_2 পিস্টন দুইটি প্রথমে যথাক্রমে C_1 ও C_2 চোঙ দুইটির তলদেশ স্পর্শ করিয়া আছে। S স্টপকক্‌কে বন্ধ করিয়া, AB লীভারের সাহায্যে P_1 পিস্টনকে উপরের দিকে তুলিলে উহার নীচের স্থান বায়ুশূন্য হইবে এবং জলাধারের জলের চাপে v_1 ভাল্ভ খুলিয়া ঐ জল C_1 চোঙের নীচে জমা হইবে। এইবার লীভারের সাহায্যে P_1 পিস্টনকে নীচে নামাইলে, C_1 চোঙের জলের উপর চাপ পড়িবে এবং ইহার ফলে ঐ জল v_2 ভাল্ভ খুলিয়া C_2 চোঙের P_2 পিস্টনের নীচে জমা হইবে এবং P_2 পিস্টনকে উপরের দিকে তুলিবে। এইভাবে P_1 পিস্টনের প্রত্যেক উর্ধ্বগতিতে জলাধারের (V) জল v_1 ভাল্ভ খুলিয়া C_1 চোঙে প্রবেশ করিবে এবং পরে P_1-এর নিম্নগতির সময় উহার নীচের জলের উপর চাপ পড়ায় ঐ জল v_2 ভাল্ভ খুলিয়া T_2 নলের মধ্য দিয়া C_2 চোঙের পিস্টনের নীচে জমা হইবে এবং P_2 পিস্টনকে তাহার পাত ($M.P.$) সমেত উপরের দিকে তুলিবে। এইভাবে ক্রমে ক্রমে $M.P.$ পাতের উপরিস্থিত দ্রব্য উপরে উঠিয়া এক সময় স্থির পাতকে ($F.P.$) স্পর্শ করিবে। এর পরেও যদি P_1 পিস্টনকে উঠানো-নামানো যায় তাহা হইলে দ্রব্যটি $M.P.$ এবং $F.P.$ পাতদ্বয়ের মধ্যে আবদ্ধ হইয়া পিষ্ট হইবে। দ্রব্যটিকে যখন চাপমুক্ত করিয়া বাহিরে আনিবার প্রয়োজন

হইবে তখন S স্টপকক্ খুলিয়া দিলে P_2 পিস্টনের চাপে উহার নীচের জল V জলাধারে ফিরিয়া যাইবে এবং P_2 পিস্টন নীচে নামিয়া আসিবে।

ব্যবহার :—ইহা দ্বারা কোন জিনিসকে প্রচণ্ড চাপে রাখা যায়। চিরুণী তৈরী করা, পাটের গাঁইট বাঁধা প্রভৃতি কাজে ইহা ব্যবহৃত হয়।

যান্ত্রিক সুবিধা :—AB লীভারের দীর্ঘ বাহু y এবং হ্রস্ব বাহু x হইলে লীভারের যান্ত্রিক সুবিধা হইবে $m=y/x$। লীভারের B প্রান্তে F বল প্রয়োগ করিলে, P_1 পিস্টনের উপর যে বল প্রযুক্ত হইবে তাহার পরিমাণ হইবে $F_1=mF$। যদি P_2 পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বল F_2 হয় তাহা হইলে প্যাস্কেলের সূত্র অনুযায়ী, $\frac{F_2}{\beta}=\frac{F_1}{\alpha}$;

অথবা, $F_2=\frac{F_1\beta}{\alpha}=\frac{mF\beta}{\alpha}$। কাজেই হাইড্রলিক প্রেসের **যান্ত্রিক সুবিধা** $=$ $\frac{\text{প্রাপ্ত বল}}{\text{প্রযুক্ত বল}}=\frac{F_2}{F}=\frac{m\beta}{\alpha}$। যদি লীভারের যান্ত্রিক সুবিধা m এবং P_2 পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ β বৃদ্ধি করা যায় এবং P_1 পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ α হ্রাস করা যায় তাহা হইলে প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা বাড়িয়া যাইবে।

হাইড্রলিক প্রেস শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে :—C_1 চোঙের P_1 পিস্টন যদি l_1 দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামে তাহা হইলে উহা দ্বারা বিতাড়িত জলের আয়তন $=l_1\alpha$। আবার C_2 চোঙের P_2 পিস্টন যদি l_2 দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠে তাহা হইলে C_2 চোঙে প্রবিষ্ট জলের আয়তন $=l_2\beta$। কিন্তু C_1 চোঙ হইতে বিতাড়িত জলের আয়তন, C_2 চোঙে প্রবিষ্ট জলের আয়তনের সমান। কাজেই

$$l_1\alpha=l_2\beta \quad \cdots \quad (10\text{-}11a)।$$

P_1 পিস্টন F_1 বলের প্রভাবে l_1 দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামিয়াছে। কাজেই P_1 পিস্টনের উপর কৃতকার্যের পরিমাণ $=w_1=F_1l_1=mFl_1$ আবার P_2 পিস্টন F_2 বলের প্রভাবে l_2 দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিয়াছে। কাজেই P_2 পিস্টনের উপর কৃতকার্যের পরিমাণ $=w_2=F_2l_2=\frac{mF\beta}{\alpha}\left(\frac{l_1\alpha}{\beta}\right)=mFl_1=w_1$ [(10-11a) সমীকরণ হইতে]। অতএব P_1 পিস্টনের উপর কৃতকার্যের পরিমাণ $(w_1)=P_2$ পিস্টনের উপর কৃতকার্যের পরিমাণ (w_2)। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, যন্ত্রটি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে। অবশ্য ঘর্ষণ ইত্যাদি থাকার দরুন প্রাপ্তশক্তি প্রযুক্ত শক্তি অপেক্ষা কিছু কম হয়।

10-12. প্যাস্কেলের সূত্রের ব্যবহারিক প্রয়োগের আরও কয়েকটি দৃষ্টান্ত ঃ (a) **হাইড্রোস্ট্যাটিক বেলো** (Hydro-

static Bellows) ঃ—ইহাতে বড় ব্যাসের একটি শক্ত চামড়ার হাপর (H) আছে যাহার উপরমুখ α প্রস্থচ্ছেদের পাটাতন (P) দ্বারা বন্ধ করা আছে। হাপরটি জল দ্বারা ভর্তি থাকে এবং উহার পার্শ্বে দুই মুখ খোলা একটি সরু দীর্ঘ নল ABC (যাহার দৈর্ঘ্য $= AC$) যুক্ত করা থাকে [10.17নং চিত্র]। নলের (ABC) নীচের খোলা মুখ হাপরের জলের মধ্যে থাকে এবং উপরের ফানেলযুক্ত (F) খোলা মুখ বাতাসের মধ্যে থাকে। এই সরু নলে সামান্য জল ঢালিলে ঐ জলের উচ্চতা ($=h$) খুব বেশী হইবে এবং এই উচ্চতার জল পাটাতনের (P) উপর যে ঊর্ধ্বচাপ $h\rho g$ সঞ্চালিত করিবে তাহাও খুব বেশী হইবে। এই চাপবৃদ্ধির ফলে পাটাতনের উপর ঊর্ধ্বদিকে যে ঘাত-বৃদ্ধি হইবে তাহার পরিমাণ $\alpha h\rho g$ হইবে। এই পরিমাণ এত বেশী যে উহা পাটাতনের উপর খুব ভারী জিনিসকে (W) সাম্য অবস্থায় রাখিতে পারিবে।



চিত্র 10.17 ঃ হাইড্রোস্ট্যাটিক বেলো

(b) **হাইড্রলিক লিফ্‌ট** (Hydraulic lift) ঃ—মোটর মেরামতি কারখানায় মোটরকে উপরে তুলিবার জন্য এই যন্ত্র ব্যবহৃত হয়। ইহাতে একটি সরু ও একটি মোটা পিস্টনের মধ্যে তৈলের মাধ্যমে যোগাযোগ রক্ষা করা হয়। সরু পিস্টনের উপর অল্প বল প্রয়োগ করিলে মোটা পিস্টনে খুব বেশী বল সঞ্চালিত হয় এবং ইহার ফলে মোটা পিস্টনের উপর রক্ষিত মোটর গাড়ী উপরে উঠিতে থাকে।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions] (অধ্যায় 10)

1. বল, ঘাত ও চাপের মধ্যে পার্থক্য বুঝাইয়া দাও। তরলের মধ্যস্থ কোন একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে চাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। [Art. 10-1]

2. কোন পাত্রস্থ তরল যে সর্বদা পাত্রের তলের লম্বের দিকে চাপ দেয় তাহা দেখাইতে একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Art. 10-2]

3. একটি পরীক্ষা দ্বারা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রমাণ কর ঃ (i) তরলের মধ্যস্থ কোন বিন্দুতে তরলের চাপ সর্বদিকে সমান ; (ii) তরলের চাপ উহার গভীরতা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধি পায় ; (iii) কোন নির্দিষ্ট গভীরতায় তরলের চাপ উহার ঘনত্বের সমানুপাতিক ; (iv) তরলের মধ্যস্থ কোন অনুভূমিক তলের চাপ সর্বত্র সমান থাকে। [Arts. 10-3]

4. নিম্নলিখিত বিষয়গুলি প্রমাণ করিবার জন্য প্রত্যেক ক্ষেত্রে একটি করিয়া পরীক্ষার বর্ণনা কর :—
(i) তরলে নিমজ্জিত বস্তুর উপর তরল ঊর্ধ্ব এবং নিম্নচাপ প্রয়োগ করে ; (ii) তরলের পার্শ্বচাপ আছে ; (iii) স্থির তরলের উপরতল সর্বদা অনুভূমিক থাকে। [Art. 10-4]

5. উদ্‌স্থৈতিক কুট বলিতে কি বুঝ ? উহা দেখাইতে একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Art. 10-5]

6. পরস্পর-সংযুক্ত অনেকগুলি পাত্রের তরলের উপরতল একই অনুভূমিক তলে থাকে—ইহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও। [Art. 10-6]

7. তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগের কয়েকটি দৃষ্টান্ত দাও। [Art. 10-7]

8. একটি U-নলের দুইটি অমিশ্রণীয় তরলের সাম্য অবস্থার শর্ত নির্ণয় কর। [Art. 10-8]

9. তরলের চাপ-সঞ্চালন সংক্রান্ত প্যাস্কেলের সূত্রটি বল এবং পরীক্ষা দ্বারা উহার সত্যতা নির্ধারণ কর। [Art. 10-9]

10. তরলে চাপ-সঞ্চালন দ্বারা যে ঘাতবৃদ্ধি করা যায় তাহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ দাও। [Art. 10-10]

11. হাইড্রলিক প্রেসের গঠন এবং কার্যপ্রণালীর বিবরণ দাও। উহার যান্ত্রিক সুবিধা নির্ণয় কর। এই যন্ত্র কি শক্তির সংরক্ষণ সূত্র মানিয়া চলে? [Art. 10-11]

12. প্যাস্কেলের সূত্রের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [Art. 10-12]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Objective type Questions] (অধ্যায় 10)

A. Multiple choice type : (1) চারিদিক ঢাকা একটি কাঠের পিপার উপরতলে একটি লম্বা নল লাগাইয়া তাহাদের মধ্যে জল ঢালিলে কি হইবে?—পিপার তলায় ঘাত-বৃদ্ধি হেতু (ঘাত $= Ah\rho g$) পিপাটির ফাটিয়া যাইবার সম্ভাবনা; নলের মধ্যে অল্প পরিমাণ জল থাকায় পিপার তলায় সামান্য পরিমাণ চাপবৃদ্ধি হইবে। (2) একটি গভীর জলপূর্ণ ট্যাঙ্কের জলের উপরতলের সামান্য নীচে জলের চাপ কিরূপ হইবে?—জলের নিম্নচাপ কম হইবে কিন্তু উর্ধ্বচাপ বেশী হইবে; ঐ বিন্দুতে জলের চাপ সর্বদিকে সমান হইবে। (3) দুইটি একই গভীরতার পাত্র লইয়া একটি জল অপরটি তেল দ্বারা ভর্তি করা হইল। এক্ষণে উহাদিগকে একটি অনুভূমিক টেবিলের উপর রাখিয়া উহাদিগকে একটি অনুভূমিক নল দ্বারা যুক্ত করিলে কি হইবে?—কোন পরিবর্তন লক্ষিত হইবে না; একই গভীরতায় জলের চাপ বেশী কিন্তু তেলের চাপ কম, এজন্য জল তেলের মধ্যে প্রবাহিত হইবে যতক্ষণ না নলের দুই প্রান্তের চাপ সমান হয়।

B. Recall type : (1) প্যাস্কেলের সূত্রকে — পদার্থের মাধ্যমে — সঞ্চালন দ্বারা ঘাত-বৃদ্ধি সূত্রও বলা হয়। (2) বাড়ীর ছাদের ট্যাঙ্কের জলের চাপ দোতলায় — হইবে এবং নীচ তলায় — হইবে। (3) তরলের চাপ — উপর নির্ভর করে তরলের পরিমাণের উপর করে না।

C. True or False type : (1) একটি U-নলে জল ও পারদ থাকিলে দুই বাহুর মুক্ত তরল-তল একই অনুভূমিক তলে থাকিবে। (2) হাইড্রলিক প্রেসের দুই বাহুর পিস্টনের উপর চাপ সমান থাকে। (3) জ্যাকেট ঘেরা কোন গরম নলকে ঠাণ্ডা করিতে হইলে জ্যাকেটের মধ্যে ঠাণ্ডা জলকে উপর হইতে নীচের দিকে অতিক্রম করাইতে হয় কিন্তু ঠাণ্ডা নলকে গরম করিতে হইলে জ্যাকেটের মধ্যে ষ্টীমকে নীচ হইতে উপর দিকে অতিক্রম করাইতে হয়। (4) একই গভীরতায় বিভিন্ন তরলের চাপ বিভিন্ন হয়।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 10]

1. একটি খালের জলের 30 ফুট নীচে যে কপাট (lock-gate) আছে তাহাতে 2·4 ইঞ্চি বর্গের (2 inch square) একটি ছিদ্র আছে। একটি ধাতবপাত দ্বারা ঐ ছিদ্র হইতে জল নির্গমন বন্ধ করিতে পাতের উপর কত ঘাত প্রয়োগ করিতে হইবে? জলের ঘনত্ব=62·5 পাউণ্ড প্রতি ঘন ফুটে।

উঃ। 2·4 ইঞ্চি=·2 ফুট। অতএব বর্গটি ·2 ফুট দৈর্ঘ্যের হইবে। পাতের উচ্চতম এবং নিম্নতম বিন্দুর চাপ নির্ণয় করিয়া উহাদের গড় লইলে পাতের উপর গড়

পার্শ্বচাপ নির্ণীত হইবে। অতএব পাতটির উপর ঘাত হইবে = গড়চাপ × পাত্রের ক্ষেত্রফল $(= \cdot 2 \times \cdot 2)$। পাতের উচ্চতম বিন্দুতে চাপ $= 30 \times 62 \cdot 5$ পাউণ্ড-ভার এবং উহার নিম্নতম বিন্দুতে চাপ $= 30 \cdot 2 \times 62 \cdot 5$ পাউণ্ডভার। অতএব পাতের উপর গড় পার্শ্বঘাত $= (\cdot 2 \times \cdot 2) \times \frac{30 + 30 \cdot 2}{2} \times 62 \cdot 5 = 75 \cdot 25$ পাউণ্ড-ভার।

2. একটি জলভর্তি বোতলের উচ্চতা 10 cm. উহার মুখের ক্ষেত্রফল 1 বর্গসেন্টিমিটার এবং তলদেশের ক্ষেত্রফল 30 বর্গসেন্টিমিটার। বোতলের মুখের ছিপির উপর 40 গ্রাম ভার চাপাইলে বোতলের তলদেশে কত ঘাত হইবে? (Delhi, 1952)

উঃ। বোতলের তলদেশে মোট ঘাত = 10 cm. উচ্চতার জলের জন্য ঘাত + সঞ্চালিত চাপের জন্য ঘাত। অতএব তলদেশের ঘাত

$$T = A(h\rho + \omega/\alpha) = 30(10 \times 1 + \tfrac{40}{1}) = 1500 \text{ গ্রামভার।}$$

3. কোন সমুদ্রের এক মাইল গভীরে জলের চাপ কত হইবে যখন সমুদ্রের জলের আপেক্ষিক গুরুত্ব $= 1 \cdot 03$ এবং বিশুদ্ধ জলের ঘনত্ব $62 \cdot 5$ পাউণ্ড প্রতি ঘনফুটে? চাপের পরিমাণ টন-ভারে প্রকাশ কর। [এক টন = 2240 পাউণ্ড]।

উঃ। চাপ $= \frac{1760 \times 3 \times 1 \cdot 03 \times 62 \cdot 5}{2240} = 151 \cdot 7$ টন-ভার

4. একটি বাড়ীর ছাদে যে জলের ট্যাঙ্ক আছে, সেই ট্যাঙ্কের জল নীচতলার 3/2 বর্গ ইঞ্চির প্রস্থচ্ছেদের একটি কলে $162\frac{73}{96}$ পাউণ্ড-ভার চাপ দিতেছে। কলটি সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে 150 ফুট উচ্চে থাকিলে, সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে ট্যাঙ্কের উচ্চতা কত হইবে?

উঃ। সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে ট্যাঙ্কের উচ্চতা h ফুট হইলে, কল হইতে ট্যাঙ্কের উচ্চতা $(h - 150)$ ফুট হইবে। কলের উপর ট্যাঙ্কের জলের ঘাত $T = Ah\rho$ পাউণ্ড-ভার $= \frac{3}{2 \times 12^2}(h - 150) \times 62 \cdot 5 = 162\frac{73}{96}$ পাউণ্ড-ভার। [প্রশ্ন অনুযায়ী]

অতএব, $162\frac{73}{96} = \frac{3}{2 \times 12^2}(h - 150) \times 62 \cdot 5$। অথবা, $h = 400 \cdot 2$ ফুট।

5. একটি U-নলের এক বাহুতে তেল ও জল আছে এবং অপর বাহুতে জল আছে। নলটিকে টেবিলের উপর খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিলে টেবিল হইতে তেলের উচ্চতম এবং নিম্নতম তলের উচ্চতা যথাক্রমে $18 \cdot 4$ ও $6 \cdot 4$ cm.। টেবিল হইতে অপর বাহুর জলের উচ্চতা $16 \cdot 6$ cm.। তেলের ঘনত্ব নির্ণয় কর। (H.S. Comp. 1961)

উঃ। তেল ও জলের অনুভূমিক স্পর্শতল হইতে তেলের উচ্চতা $18 \cdot 4 - 6 \cdot 4 = 12$ cm. এবং জলের উচ্চতা $16 \cdot 6 - 6 \cdot 4 = 10 \cdot 2$ cm. অনুভূমিক স্পর্শতলের উপর চাপ সর্বত্র সমান, কাজেই $12\rho = 10 \cdot 2$; অথবা, $\rho = \cdot 85$ gm./c.c.

6. একটি U-নলের দুই বাহুর প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 1 বর্গ ইঞ্চি এবং ·1 বর্গ ইঞ্চি। নলের দুই বাহুতেই পারদ (আ. গু. 13·6) আছে। মোটা বাহুতে কি আয়তনের জল ঢালিলে সরু বাহুতে পারদ এক ইঞ্চি উপরে উঠিবে? (Patna, 1942)

উঃ। সরু নলে পারদকে এক ইঞ্চি দ্বারা উঠাইতে যদি মোটা নলের পারদ x ইঞ্চি দ্বারা নামে তাহা হইলে মোটা নল হইতে বিতাড়িত পারদের আয়তন এবং সরু নলে প্রবিষ্ট পারদের আয়তন সমান হইবে। অর্থাৎ, $x \times 1 = 1 \times \cdot 1$; অথবা $x = \cdot 1$ ইঞ্চি। অতএব মোটা বাহুর জল ও পারদের অনুভূমিক স্পর্শতল হইতে মোটা নলে জলের তলের উচ্চতা h ইঞ্চি হইলে সরু নলে পারদ তলের উচ্চতা 1·1 ইঞ্চি হইবে। কাজেই $1 \cdot 1 \times 13 \cdot 6 = h \times 1$; অথবা $h = 14 \cdot 96$ ইঞ্চি। কিন্তু মোটা নলের প্রস্থচ্ছেদ = 1 বর্গ ইঞ্চি, কাজেই মোটা নলে যে আয়তনের জল ঢালিতে হইবে তাহার পরিমাণ 14·96 ঘন ইঞ্চি হইবে।

7. হাইড্রলিক প্রেসের ছোট এবং বড় পিস্টনের ব্যাস যথাক্রমে 1 ইঞ্চি এবং 1 ফুট। একটি লীভারের সাহায্যে 1 টন ভারের বস্তুকে বড় পিস্টন দ্বারা তোলা হইতেছে, যে লীভারের দীর্ঘ এবং হ্রস্ব বাহুর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে $1\frac{1}{2}$ ফুট এবং 2 ইঞ্চি। লীভারের প্রান্তে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে?

উঃ। আমরা জানি $F_2 = \frac{m\beta}{\alpha} . F$। এখানে $m = \frac{18}{2} = 9$; $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{\pi(12)^2/4}{\pi(1)^2/4} = 144.$

$F_2 = 2240$ পাউণ্ড-ভার। কাজেই, $2240 = 9 \times 144 \times F$; অথবা, $F = 1 \cdot 73$ পাউণ্ড-ভার।

8. এক মিটার লম্বা পারদভর্তি নলের নীচে কত চাপ হইবে যখন নলটি (i) উল্লম্ব অবস্থায় আছে (ii) উল্লম্ব তলের সহিত 60° কোণ করিয়া আছে।

উঃ। (i) নলটি যখন উল্লম্ব অবস্থায় আছে তখন নলের নীচে চাপ হইবে,

$P_1 = h\rho g = 100 \times 13 \cdot 6 \times 980 = 13328$ ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

(ii) যখন নলটি উল্লম্ব তলের সহিত 60° কোণ করিতেছে তখন উহার খাড়া উচ্চতা হইবে 100 cos 60° = 50 cm.। অতএব নলের তলায় চাপ হইবে $P_2 = 6664$ ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 10]

1. 50 cm. দৈর্ঘ্যের একটি ঘনককে 1·2 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি তরলের মধ্যে নিমজ্জিত করা হইল যাহাতে ঘনকের উপরতল তরলের উপরতল হইতে 25 cm. নীচে থাকিতে পারে। ঘনকের প্রত্যেক তলের উপরে ঘাতের পরিমাণ নির্ণয় কর।

[**Ans.** ঘাতের পরিমাণ—ঘনকের উপর পৃষ্ঠায় = $7 \cdot 5 \times 10^4$ গ্রাম-ভার ; নীচ পৃষ্ঠায় = $2 \cdot 25 \times 10^5$ গ্রাম-ভার ; খাড়া চারিটির প্রত্যেক পৃষ্ঠায় = $1 \cdot 5 \times 10^5$ গ্রাম-ভার]

2. সমুদ্রপৃষ্ঠের 10 ফুট নীচে জলের চাপ কত হইবে যখন সমুদ্র জলের আ. গু. 1·025 এবং এক ঘনফুট বিশুদ্ধ জলের ওজন 62·5 পাউণ্ড। [Ans. 640·625 পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গ ফুটে]

3. সমুদ্রজলে নিমজ্জিত একটি অনুভূমিক তলের উপরে চাপ 100 টন-ভার। তলটি কত গভীরতায় আছে? [Ans. ·99 মাইল]

4. একটি খালের কপাট (lock-gate) 12 ফুট চওড়া এবং উহার দুইপাশে জলের গভীরতা যথাক্রমে 16 ফুট ও 10 ফুট। কপাটটির উপর লব্ধি ঘাত কত হইবে? [Ans. 26·1 টন-ভার]

5. একটি জলপূর্ণ কূপের তলদেশের চাপ উহার 2 ফুট নীচের চাপের চারগুণ। কূপের গভীরতা কত হইবে যখন বায়ুমণ্ডলের চাপ, 30 ফুট খাড়া উচ্চতার জলের চাপের সমান? [Ans. 98 ফুট]

6. একটি নদীর কত গভীরতায় গেলে জলের চাপ এক মেগাডাইন হইবে? [Ans. 1020 cm.]

7. একটি বাড়ীর নীচের তলার কলে, জলের চাপ = 34 পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গইঞ্চিতে কিন্তু চারতলার কলে জলের চাপ 18 পাউণ্ড-ভার প্রতি বর্গ-ইঞ্চিতে। নীচতলা হইতে চারতলার উচ্চতা কত হইবে? [Ans 36·86 ফুট]

8. একটি সমপ্রস্থচ্ছেদের U-নলের অর্ধেকটায় জল ঢালা হইল। U-নলের একটি বাহুতে কত দৈর্ঘ্যের তেল (আ. গু. ·85) ঢালিলে দুই বাহুর জলের তলের পার্থক্য 17 cm. হইবে? [Ans. 20 cm.]

9. হাইড্রলিক প্রেসের দুই বাহুর পিষ্টনের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 20 cm. 150 cm. দৈর্ঘ্যের এক একটি বর্গক্ষেত্র। লীভারের দুই বাহুর অনুপাত 10 : 1 হইলে লীভারের প্রান্তে কত বল প্রয়োগ করিলে বড় পিষ্টন একটন ভারকে উপরে উঠাইতে পারিবে? [Ans. প্রায় 4 পাউণ্ড-ভার]

10. একটি হাইড্রলিক প্রেসের সরু পিষ্টনের আকার একটি 5 ইঞ্চি বাহুর বর্গক্ষেত্র এবং মোটা পিষ্টনের প্রস্থচ্ছেদ 20 বর্গফুট। সরু পিষ্টনের উপর 100 পাউণ্ড-ভার চাপাইয়া মোটা পিষ্টন দ্বারা কত ভার উপরে তোলা যাইবে? [Ans. $5\frac{1}{7}$ টন-ভার]

11. হাইড্রলিক প্রেসের দুই পিষ্টনের ব্যাসের অনুপাত 16 : 3 এবং উহার লীভারের দুই বাহুর অনুপাত 9 : 2। প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা কত? [Ans. 128]

12. একটি বাড়ীর কলে 300 ফুট উপরে অবস্থিত জলাধার হইতে জল আসিতেছে। কলের প্রতি বর্গইঞ্চিতে জলের [ঘনত্ব = 62·4 lb/cu. ft.] চাপ কত হইবে? [Ans. 130 lbs. per sq inch]

13. একটি বোতলের তলদেশ একটি 6 cm.-এর বর্গক্ষেত্র এবং উহার মুখের ছিপির প্রস্থচ্ছেদ 1 sq. cm। বোতলের তলায় যদি 1200 গ্রাম-ভার ঘাত-প্রযুক্ত থাকে তাহা হইলে ছিপির উপর কত ঘাত প্রযুক্ত হইয়াছে? [Ans. $33\frac{1}{3}$ গ্রাম-ভার]

14. 10 সে. মি. দৈর্ঘ্যের পাত্রের তলদেশের ব্যাস 10 সে.মি.। পাত্রকে 1·2 ঘনত্বের তরল দ্বারা ভর্তি করিলে পাত্রের তলদেশে কত ঘাত পড়িবে? [Ans. 942 গ্রাম-ভার]

15. এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদের U-নলে কিছু পারদ আছে। একনলে 13·1 সি. সি. জল ঢালা হইল এবং অপর নলে 8 সি. সি. তেল ঢালা হইল যাহার ঘনত্ব ·8 গ্রাম/সি. সি। তেল এবং জলের তলের উচ্চতার পার্থক্য কত হইবে? [Ans. 4·6 cm.]

সংকেত : [তেল অপেক্ষা জলের পরিমাণ বেশী। কাজেই জলযুক্ত বাহুর পারদ যদি x cm. নামে তাহা হইলে তেলযুক্ত-বাহুর পারদ x cm. উঠিবে। কাজেই দুই পারদতলের পার্থক্য $2x$ cm. হইবে। জল ও পারদের স্পর্শতল হইতে জলের উচ্চতা 13·1 cm. হইবে এবং ঐ তল হইতে তেলের উচ্চতা হইবে $(8+2x)$ cm.। যেহেতু ঐ স্পর্শতল একটি অনুভূমিক সমতল, উহার সব বিন্দুতে চাপ সমান হইবে। কাজেই $13{\cdot}1\times1=2x\times13{\cdot}6+8\times{\cdot}8$। অথবা, $2x={\cdot}5$ cm. প্রায়। অতএব পারদ ও জলের স্পর্শতল হইতে জলের উচ্চতা 13·1 cm. এবং তেলের উচ্চতা 8·5 cm.। সুতরাং ঐ দুই তলের পার্থক্য = 13·1 − 8·5 = 4·6 cm.]

অধ্যায় 11

বায়ুমণ্ডলের চাপ

(Atmospheric Pressure)

11-1. বায়ুমণ্ডল এবং বায়ুমণ্ডলের চাপ (Atmosphere and atmospheric pressure) ঃ কতকগুলি গ্যাসের সমবায়ে গঠিত যে গ্যাস-মিশ্রণ, ভূ-পৃষ্ঠকে সর্বদা বেষ্টন করিয়া আছে তাহাকে **বায়ুমণ্ডল** (atmosphere) বলে। এই গ্যাস-মিশ্রণে যে প্রধান দুইটি উপাদান পাওয়া যায় তাহাদের নাম নাইট্রোজেন ও অক্সিজেন এবং ইহারা প্রায় 4 : 1 আয়তনিক অনুপাতে মিশ্রিত থাকে। ভূ-পৃষ্ঠে প্রাণীর অস্তিত্ব এই বায়ুমণ্ডলের জন্যই সম্ভব হইয়াছে। এই বায়ুমণ্ডল ভূ-পৃষ্ঠ হইতে কতদূর বিস্তৃত তাহা বলা কঠিন তবে অনুমান করা হয় যে ইহার বিস্তৃতি প্রায় 250 মাইল পর্যন্ত।

বায়ুমণ্ডলের চাপ ঃ বায়ুমণ্ডল অনেকগুলি স্তর দ্বারা গঠিত। যত উর্ধ্বে উঠা যায়, স্তরগুলির ঘনত্ব তত কমিয়া যায়। বায়ুমণ্ডলের যে-কোন স্তর তাহার উপরিস্থিত স্তরগুলির ওজনের জন্য সর্বদা একটা চাপ ভোগ করে যাহাকে ঐ স্তরে **বায়ুমণ্ডলের চাপ** বলে। বায়ুমণ্ডলের কোনও স্তরের একটি বিন্দুর চারিদিকে, যদি একক ক্ষেত্রফল অঙ্কিত করিয়া তাহার উপর বায়ুমণ্ডলের উচ্চতার সমান একটি দীর্ঘ চোঙ কল্পনা করা হয় তাহা হইলে ঐ চোঙের মধ্যস্থ বায়ুর ওজনই ঐ স্তরের নির্দিষ্ট বিন্দুতে বায়ুমণ্ডলের চাপের পরিমাণ হইবে।

ভূ-পৃষ্ঠে বায়ুমণ্ডল যে চাপ প্রয়োগ করে তাহা প্রায় 76 সে. মি. পারদ স্তম্ভকে খাড়াভাবে ধরিয়া রাখিতে পারে। অর্থাৎ, ভূ-পৃষ্ঠের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ, প্রায় 76 সে. মি. পারদস্তম্ভের নিম্নচাপের সমান। সাধারণভাবে বলা যাইতে পারে যে, যদি কোনও স্থানে বায়ুমণ্ডলের চাপ h সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান হয় তাহা হইলে বায়ুমণ্ডলের চাপ $=h$ সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপ $=h\rho g$। দেখা যাইতেছে যে-কোনও স্থানে পারদস্তম্ভের এই উচ্চতা h, উহার ঘনত্ব ρ এবং স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণ g-এর উপর নির্ভর করে। এজন্য কোনও স্থানে, যে উল্লম্ব দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপের সহিত বায়ুমণ্ডলের চাপ সমান ধরা হয়, সেই পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্যের উল্লেখ কালে পারদের উষ্ণতা এবং স্থানীয় অভিকর্ষজাত ত্বরণের মানেরও উল্লেখ প্রয়োজন।

বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রমাণ-মান (Standard value) স্থির করিবার জন্য পৃথিবীর 45° অক্ষাংশের সমুদ্রপৃষ্ঠে (যেখানে g-এর মান নির্দিষ্ট আছে) 0°C উষ্ণতার পারদস্তম্ভের যে দৈর্ঘ্যের চাপ, বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত সমান হয় সেই দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপকে **বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ** বলে। দেখা গিয়াছে যে

পৃথিবীর 45° অক্ষাংশের সমুদ্রপৃষ্ঠে 0°C উষ্ণতার 76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের সহিত সমান হয়। এজন্য 0°C উষ্ণতার 76 সে. মি. দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভের চাপকে বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ ধরা হয়। অতএব **প্রমাণ চাপের পরিমাণ** $= P = h\rho g = 76 \times 13{\cdot}596 \times 980{\cdot}6 = 1{\cdot}013 \times 10^6$ ডাইন/বর্গ সে. মি.।
অথবা, $P = 1{\cdot}013$ মেগাডাইন/বর্গ সে. মি.।

11-2. বায়ুর ওজন ও চাপ (Weight and pressure of air) :

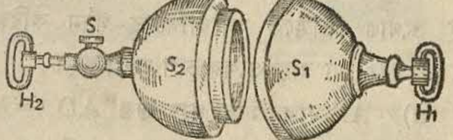
(*a*) **বায়ুর ওজন :**—বায়ুর ওজন দেখাইবার জন্য স্টপককযুক্ত একটি কাচের গোলককে প্রথমে বায়ুশূন্য করিয়া (পাম্পের সাহায্যে) এবং পরে বায়ু ভর্তি করিয়া ওজন করা হইল। দেখা গেল যে শেষের বারের ওজন প্রথম বারের ওজন অপেক্ষা বেশী। ইহা দ্বারা বোঝা গেল যে বায়ুর ওজন আছে।

(*b*) **বায়ুর চাপ :**—বায়ুর মধ্যে নিমজ্জিত সমস্ত বস্তুর উপরই বায়ু চাপ প্রয়োগ করিতেছে এবং একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে বায়ু সর্ব দিকে সমান পরিমাণ চাপ দেয়।

(*i*) **বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ :**—ইহা দেখাইতে খুব একটি সাধারণ পরীক্ষার প্রয়োজন। একটি জল-ভর্তি কাচের গ্লাসের মুখ পোস্টকার্ড দ্বারা বন্ধ করিয়া, ঐ কার্ডকে হাত দিয়া ধরিয়া গ্লাস উল্টাইয়া ধরিয়া হাত সরাইয়া লইলেও গ্লাসের মুখের কার্ড কিংবা গ্লাসের জল পড়িয়া যায় না। কার্ডের উপর বায়ুর ঊর্ধ্বচাপ জনিত কার্ড এবং জল পড়িয়া গেল না।

(*ii*) **বায়ুর নিম্নচাপ :**—একটি তুইমুখ খোলা কাচের নলের একমুখ এক গ্লাস জলের মধ্যে খাড়াভাবে আংশিক ডুবাইলে দেখা যাইবে যে নলের মধ্যের এবং বাহিরের জলের তল একই অনুভূমিক সমতলে রহিয়াছে। কারণ নলের মধ্যস্থ জলের উপর বায়ুর চাপ এবং গ্লাসের জলের উপর বায়ুর চাপ সমান থাকায় নলের বাহিরের এবং ভিতরের জলের তল একই অনুভূমিক সমতলে থাকিতেছে। এক্ষণে নলের মধ্যে জোরে ফুঁ দিয়া বায়ুর নিম্নচাপ বৃদ্ধি করিলে দেখা যাইবে যে নলের মধ্যস্থ জলের তল বাহিরের জলের তলের নীচে নামিয়া গিয়াছে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে বায়ু নিম্নচাপ প্রয়োগ করিতে পারে।

(*iii*) **বায়ুর পার্শ্বচাপ :**—বায়ুর পার্শ্বচাপ দেখাইবার জন্য ম্যাগডিবার্গের তুইটি ফাঁপা অর্ধ-গোলক (S_1 ও S_2) লওয়া হয় যাহাদের একটির (S_1) সহিত একটি আংটা (H_1) এবং অপরটির (S_2) সহিত একটি আংটা (H_2) ও স্টপকক্ (S) লাগানো আছে। অর্ধ-গোলক তুইটিকে বায়ু নিরুদ্ধভাবে জোড়া লাগাইয়া ঐ



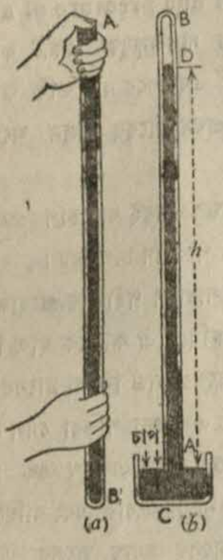
চিত্র 11.1 : ম্যাগডিবার্গের অর্ধ-গোলক

পূর্ণ গোলকের মধ্যে যখন বায়ুমণ্ডলের চাপে বাতাস রাখা হয় তখন অর্ধ-গোলক

দুইটিকে সহজেই পৃথক করা যায়। কিন্তু পূর্ণ গোলকের মধ্যস্থান যখন স্টপকক্ (S) এবং একটি পাম্পের সাহায্যে বায়ুশূন্য করা হয় তখন অর্ধ-গোলক দুইটিকে পৃথক করা অতীব কষ্টসাধ্য। ইহা দ্বারা বায়ুর সর্বমুখী চাপের অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

11-3. টরিসেলির পরীক্ষা (Torricelli's experiment) ঃ

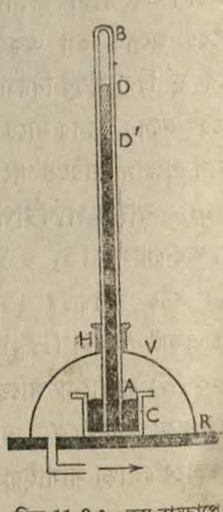
টরিসেলির পরীক্ষা ঃ—প্রায় এক মিটার লম্বা এবং সমব্যাসের একটি মোটা কাচের নল (AB) লওয়া হইল যাহাকে উল্লম্বভাবে ধরিয়া ইহার খোলা মুখে (A) বিশুদ্ধ ও শুষ্ক পারদ ঢালিয়া নলকে সম্পূর্ণরূপে ভর্তি করা হইল [11.2(a)নং চিত্র]। এক্ষণে নলের খোলা মুখ (A) আঙ্গুল দ্বারা বন্ধ করিয়া নলটিকে উপুড় করা হইল এবং আঙ্গুলসমেত একটি গভীর পাত্রের (C) পারদের মধ্যে ডুবাইয়া আঙ্গুলকে সরাইয়া লওয়া হইল। নলটিকে খাড়াভাবে ধরিলে দেখা যাইবে যে নলের মধ্যে h সে. মি. (h প্রায় 76 সে. মি. অথবা 30 ইঞ্চি) পারদস্তম্ভ থাকিয়া অবশিষ্ট পারদ C পাত্রে পড়িয়া যাইবে [(11·2 (b) নং চিত্র]।



চিত্র 11.2 : টরিসেলির পরীক্ষা

টরিসেলির পরীক্ষা-লব্ধ তথ্য ঃ—(i) বায়ুমণ্ডল, পারদপাত্রের (C) পারদের ওপর যে নিম্নচাপ প্রয়োগ করিতেছে (যে চাপের অভিমুখ 11.2(b)নং চিত্রে তীরচিহ্ন দ্বারা দেখানো হইয়াছে) তাহার মান অপরিবর্তিত থাকিয়া সর্বদিকে সঞ্চালিত হইবে (প্যাস্কেলের সূত্র)। এই প্রযুক্ত চাপের ফলে কিছু পারদ নলে উঠিয়া যাইবে এবং যখন নলের মধ্যস্থ h সে. মি. উল্লম্ব পারদস্তম্ভের চাপ এবং পারদপাত্রের (C) পারদের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ সমান হইবে তখন নলের পারদস্তম্ভ স্থির থাকিবে। এই তথ্যের ভিত্তিতে ব্যারোমিটার গঠন করিয়া তাহার সাহায্যে বায়ুমণ্ডলের চাপ মাপা হয়।

(ii) AB নলের মধ্যে পারদস্তম্ভ AD $(=h)$ যে পারদপাত্রের (C) উপরে বায়ুমণ্ডলের নিম্নচাপের ফলেই উল্লম্ব অবস্থায় রহিয়াছে তাহা নিম্নলিখিত পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা যায়। পারদ পাত্র (C)

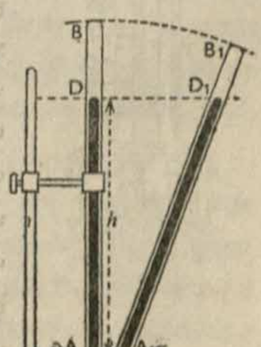


চিত্র 11.3 : কম বায়ুচাপে পারদস্তম্ভের কম উচ্চতা

সমেত AB নলকে একটি বায়ুনিষ্কাশক যন্ত্রের রেকাবির (R) উপর স্থাপন করিয়া ঐ রেকাবির উপর একটি কাচের পাত্র (V) রাখা হইল যাহার উপরের ছিদ্র (H) দিয়া নলের (AB) উপরাংশ বাহিরে যাইতে পারে [11·3 নং চিত্র দেখ]। V পাত্রের সর্বদিক বায়ুনিরুদ্ধ করিয়া উহার মধ্য হইতে বায়ু বাহির করিয়া লইতে থাকিলে পারদপাত্রের (C) পারদের উপর বায়ুচাপ কমিতে থাকিবে। দেখা যাইবে যে নলের মধ্যস্থ পারদ তলও ক্রমশঃ নীচে নামিয়া আসিতেছে। যখন V পাত্র বায়ুশূন্য হইবে তখন নলের মধ্যস্থ পারদতল এবং পারদ পাত্রের (C) পারদতল এক অনুভূমিক সমতলে থাকিবে। V পাত্রে পুনরায় বাতাস ঢুকাইয়া দিলে পারদ পুনরায় নলের মধ্যে উঠিয়া উহার পূর্ব-উচ্চতায় ($AD=h$) স্থির থাকিবে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভ বায়ুমণ্ডলের চাপের ফলেই উল্লম্ব অবস্থায় একটি নির্দিষ্ট উচ্চতায় রহিয়াছে।

(*iii*) বিভিন্ন ব্যাসের কাচের নল লইয়া টরিসেলির পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে প্রত্যেক নলেই পারদস্তম্ভের উল্লম্ব উচ্চতা একই থাকিতেছে। এই ঘটনা হইতে জানা গেল যে পারদস্তম্ভের উচ্চতা, অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের চাপ নলের ব্যাসের উপর নির্ভর করে না। তবে কৈশিক নল হইলে পারদের পৃষ্ঠটানের জন্য এই উল্লম্ব উচ্চতা সামান্য কম হইবে।

(*iv*) নলকে উল্লম্ব অবস্থানে (AB) না রাখিয়া যদি তির্যক্‌ভাবে (A_1B_1) রাখা যায় তাহা হইলে নল বরাবর পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য বেশী হইবে কিন্তু পারদস্তম্ভের উল্লম্ব উচ্চতা নলের যে-কোন তির্যক অবস্থায় একই থাকিবে [11.4 নং চিত্র]। অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলের চাপ কেবলমাত্র উল্লম্ব উচ্চতার পারদ-স্তম্ভের চাপের সহিত সমান হইবে। এজন্য এই তথ্যের উপর ভিত্তি করিয়া ব্যারোমিটার গঠন করিলে ব্যারোমিটারের নলকে উল্লম্ব রাখিয়া নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য মাপিতে হইবে।



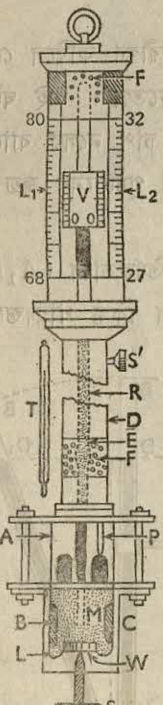
চিত্র 11.4 : পারদস্তম্ভের উল্লম্ব উচ্চতা অপরিবর্তনীয়

(*v*) নলের মধ্যস্থ পারদতলের উপরের অংশে [DB কিংবা D_1B_1—11.4 নং চিত্র দেখ] বাতাস থাকে না কিন্তু একবারে শূন্যস্থানও নয়, ইহার মধ্যে পারদ বাষ্প থাকে। ঘরের উষ্ণতায় পারদ বাষ্পের চাপ এত কম যে তাহা দ্বারা পারদতল প্রায় কিছুই নামে না। এজন্য পারদস্তম্ভের চাপকেই বায়ুমণ্ডলের চাপ

ধরা হয়। নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের উপরের স্থানকে (DB) **টরিসেলির শূন্যস্থান** (টরিসেলিয়ান ভ্যাকুয়াম—Torricellian vacuum) বলে।

AB নলের উপর প্রান্তে (DB অংশে) যদি একটি ছিদ্র করিয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে ঐ ছিদ্রপথে বায়ুমণ্ডলের বাতাস নলে প্রবেশ করিয়া পারদস্তম্ভের উপর নিম্নচাপ প্রয়োগ করিয়া উহাকে নামাইয়া দিবে। যখন নলের মধ্যস্থ পারদতল এবং পারদ পাত্রের (C) পারদতল এক অনুভূমিক সমতলে আসিবে তখন পারদ স্থির থাকিবে।

11-4. ফর্টিন ব্যারোমিটার (Fortin's barometer) ঃ ইহাতে প্রায় এক মিটার লম্বা একটি পুরু কাচের একমুখী নল (B) [যাহার প্রস্থচ্ছেদ মধ্যম প্রকার] আছে যাহা বিশুদ্ধ, শুষ্ক ও বায়ুশূন্য পারদ দ্বারা সম্পূর্ণরূপে ভর্তি থাকে। নলের খোলা মুখ একটি বিশিষ্ট আকৃতির পাত্রের পারদের মধ্যে ঢুকাইয়া রাখা হয়। নলের মধ্যে h সে. মি. (h=প্রায় 76 সে. মি.) উল্লম্ব দৈর্ঘ্যের পারদস্তম্ভ থাকে। এক্ষণে ঐ পারদ স্তম্ভকে খাড়াভাবে রাখিবার এবং উহার দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে মাপিবার ব্যবস্থা করা হয়, যাহাদের বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।



চিত্র 11.5 ঃ ফর্টিন ব্যারোমিটার

পারদ পাত্রের গঠন :—এই পাত্রটি একটি চোঙাকৃতির, যাহার উপরাংশ (A) কাচের, মধ্যমাংশ (B) কাঠের এবং নিম্নাংশ (L) চামড়ার তৈরি। নিম্নাংশের চামড়ার তলায় একটি কাষ্ঠখণ্ড (W) থাকে যাহা একটি স্ক্রু-এর (S) মাথায় অবস্থান করে। চোঙের মধ্যমাংশ (B) ও নিম্নাংশ (L) একটি পিতলের চোঙের (C) মধ্যে থাকে। স্ক্রু S-কে ঘুরাইয়া, চামড়া L-কে উপরে তুলিয়া কিংবা নীচে নামাইয়া পারদপাত্রের আয়তন যথাক্রমে ছোট কিংবা বড় করা যায় যাহার ফলে পাত্রের পারদতল উপরে উঠে কিংবা নীচে নামে। এই পাত্রের মুখ একটি ছিদ্র সমন্বিত চামড়ার পাত দ্বারা বন্ধ করা থাকে যাহার মধ্য দিয়া বায়ু চলাচল করিতে পারে। এই পাত্রের ঢাক্‌নাতে একটি হস্তিদন্ত-নির্মিত পিন (P) খাড়াভাবে আটকানো থাকে যাহার সূক্ষ্ম অগ্রভাগ উপরের স্কেল দুইটির শূন্য দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। নীচের স্ক্রু-কে (S) ঘুরাইয়া পারদ পাত্রের পারদতলকে সর্বদা ঐ পিনের (P) মাথাকে স্পর্শ করাইয়া রাখিতে হয় [11.5 নং চিত্র দেখ]।

পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য মাপিবার ব্যবস্থা :—ব্যারোমিটারের কাচের নলে যাহাতে কোনরূপ আঘাত না লাগিতে পারে সেজন্য ইহাকে একটি পিতলের চোঙের (D) মধ্যে আটকাইয়া রাখা হয়। এই পিতলের চোঙকে উল্লম্ব রাখা হয় যাহাতে কাচের নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভ উল্লম্ব থাকিতে পারে। এই পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য নির্ভুলভাবে মাপিবার জন্য, পারদস্তম্ভের উপরতলের কাছে, পিতলের নলের দৈর্ঘ্য বরাবর দুইটি বিপরীতমুখী লম্বা ছিদ্র থাকে। এই ছিদ্রের মধ্য দিয়া পারদস্তম্ভের উপরতল দেখা যায়। সামনের দিকের ছিদ্রের দুই ধারে দুইটি স্কেল অঙ্কিত করা থাকে, যাহার একটি (L_1) 68 সে. মি. হইতে 80 সে. মি. পর্যন্ত এবং অপরটি (L_2) 27 ইঞ্চ হইতে 32 ইঞ্চ পর্যন্ত বিস্তৃত। সামনের ছিদ্রের মধ্যে একটি ভার্নিয়ারকে (V) উঠানো-নামানো যায় এবং পিছনের ছিদ্রের মধ্যে ভার্নিয়ারের সহিত যুক্ত একটি পিতলের পাত ভার্নিয়ারের সহিত উঠা-নামা করিতে পারে। এই পিছনের পাতের ধার এবং ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ এক অনুভূমিক তলে থাকে। ভার্নিয়ারের চলাফেরার সময় উহার দুই ধারের স্কেল দুই প্রধান স্কেলকে (L_1 ও L_2) স্পর্শ করিয়া চলে।

ব্যারোমিটারের পঠন-পদ্ধতি :—ব্যারোমিটারের নলকে উল্লম্ব করা হইল (যদি প্রথমে ইহা করা না থাকে) এবং নীচের স্ক্রুকে (S) ঘুরাইয়া পাত্রের পারদতলকে আইভরি পিনের শীর্ষবিন্দুর সংস্পর্শে আনা হইল। এই অবস্থায় পাত্রের পারদতল উপরের স্কেল দুইটির (L_1 ও L_2) শূন্য দাগের সহিত মিলিয়া থাকিল। এক্ষণে ভার্নিয়ারকে এমনস্থানে আনা হইল যেখানে উহার শূন্য দাগ চিহ্নিত ধার পারদস্তম্ভের উত্তল উপরতলের সহিত স্পর্শক হয়। ভার্নিয়ারের শূন্য দাগ বরাবর স্কেলের পাঠ লইলে ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা সেন্টিমিটারে এবং ইঞ্চিতে পাওয়া যাইবে। বায়ুর চাপ স্বাভাবিক (**normal**) থাকিলে এই উচ্চতা 76 সে. মি. অথবা 30 ইঞ্চ হইবে।

বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপের পরিমাণ—বায়ুর চাপ স্বাভাবিক থাকিলে উহা 76 পারদস্তম্ভের কিংবা 30 ইঞ্চ পারদস্তম্ভের চাপের সহিত সমান হয়। সুতরাং

(i) **বায়ুচাপ** $= P = h\rho g = 76 \times 13{\cdot}6 \times 981 = 1013961$ ডাইন / বর্গ-সে.মি.

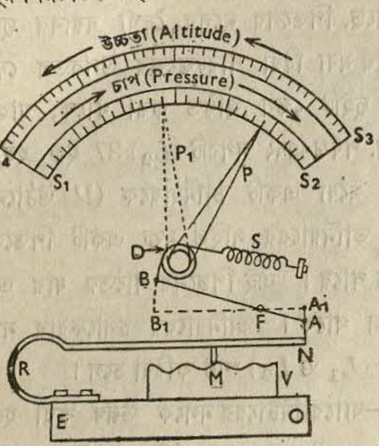
অথবা, $P =$ প্রায় 10^6 (এক মেগা) ডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে।

(ii) এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে **বায়ু চাপ** $= P = \dfrac{30 \times 13{\cdot}6 \times 62{\cdot}5}{12^3} = 14{\cdot}75$

অথবা, $P = 14{\cdot}75$ অথবা প্রায় 15 পাউণ্ড-ওজন প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে।

11-5. অ্যানিরয়েড ব্যারোমিটার (Aneroid barometer) : ইহা একটি বহনীয় (portable) ব্যারোমিটার যাহার মধ্যে কোন তরল পদার্থ থাকে না। ইহার গঠন 11.6 নং চিত্রে দেখানো হইল। ইহাতে একটি

আংশিক বায়ুশূন্য বাক্স (V) আছে যাহার নীচতল একটি ভারী ধাতব প্লেটের (EO) সহিত আটকানো আছে। বাক্সর ধারগুলি মোটা ধাতব পাতের কিন্তু উপরতলটি একটি পাত্‌লা ঢেউ খেলানো ধাতব পাত দ্বারা বন্ধ করা থাকে। বাহিরের বায়ুর নিম্নচাপে এই ঢেউখেলানো ঢাক্‌নার যাহাতে কোনরূপ বিকৃতি না ঘটে সেজন্য এই ঢাকনার মধ্যবিন্দু M, একটি শক্ত স্প্রিং-এর (RN) সহিত যুক্ত থাকে। এই স্প্রিং-এর এক প্রান্ত মোটা প্লেটের এক প্রান্তের (E) সহিত আটকানো থাকে এবং অপর প্রান্ত (N) একটি লীভারের (AB) (যাহার আলম্ব F) ছোট বাহুর (FA) এক প্রান্তের (A) সহিত বাঁধা থাকে। ইহার বড় বাহুর (FB) মুক্ত প্রান্তের (B) সহিত একটি চেইনের এক প্রান্ত বাঁধা থাকে। এই চেইনটিকে অনুভূমিক অক্ষে ঘূর্ণনক্ষম একটি ড্রামের (D) উপর জড়াইয়া উহার মুক্ত প্রান্ত আর একটি স্প্রিং S-এর একপ্রান্তে বাঁধা থাকে যাহার অপর প্রান্ত একটি বিন্দুতে আটকানো থাকে। এই ড্রামের অনুভূমিক অক্ষের সহিত একটি সূচক (P) আটকানো থাকে যাহা S_1S_2 এবং S_3S_4 স্কেলের উপর ঘুরিতে পারে। S_1S_2 স্কেলের S_1 হইতে S_2-এর দিকে বায়ুচাপের ক্রমোচ্চ মানে দাগ কাটা থাকে এবং S_3S_4 স্কেলের S_3 হইতে S_4-এর দিকে বায়ুমণ্ডলের উচ্চতার ক্রমোচ্চ মানে অংশাঙ্কিত করা থাকে। কাজেই এই যন্ত্র একই সঙ্গে ব্যারোমিটার এবং **অল্টিমিটার** (altimeter) রূপে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।



চিত্র 11.6 : অ্যানিরয়েড ব্যারোমিটার

কার্যপ্রণালী : যখন বায়ুচাপ কমিয়া যায় তখন V বাক্সের ঢেউতোলা ঢাকনা উপরে উঠে এবং RN স্প্রিং-এর N-প্রান্তকে উপরের দিকে ঠেলিয়া দেয়। ইহার ফলে লীভারের A প্রান্ত (যাহা স্প্রিং-এর N বিন্দুর সহিত যুক্ত আছে) উপরে A_1 স্থানে যায় এবং B প্রান্ত B_1 স্থানে আসে। ড্রামের (D) উপরে জড়ানো চেইনটি (যাহার একপ্রান্ত B-এর সঙ্গে বাঁধা আছে) এমন দিকে ড্রামকে ঘুরায় যাহার ফলে উহার সহিত সংযুক্ত সূচক P হইতে P_1 স্থানে আসিয়া কম চাপ নির্দেশ করে। এই চাপের হ্রাস যদি বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা বৃদ্ধির জন্য হইয়া থাকে তাহা হইলে সূচকের P_1 অবস্থান হইতে বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা (সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে) কত তাহাও জানা যাইবে। বায়ুচাপ বৃদ্ধি হইলে উপরে বর্ণিত ঘটনার বিপরীত ঘটনা দেখা যাইবে। অর্থাৎ

সূচক P নীচের স্কেলের S_2-এর দিকে যাইয়া বায়ুর চাপ বেশী নির্দেশ করিবে এবং উপরের স্কেলের S_3-এর দিকে যাইয়া বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা কম নির্দেশ করিবে।

11-6. ব্যারোমিটারের সাহায্যে কয়েকটি ঘটনার ব্যাখ্যা ঃ ব্যারোমিটারের উল্লম্ব পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য সব সময় স্থির থাকে না। এই পরিবর্তন লক্ষ্য করিয়া কয়েকটি ঘটনার ব্যাখ্যা করা যায়।

(*a*) **আবহাওয়ার পূর্বাভাস** (Weather forecast) ঃ—(i) বাতাস অপেক্ষা জলীয় বাষ্প হাল্‌কা। এই জলীয় বাষ্প বাতাসের মধ্যে বেশী পরিমাণে থাকিলে (যেমন বর্ষাকালে) বায়ু হাল্‌কা হইবে এবং ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা কম হইবে। কিন্তু পারদস্তম্ভের উচ্চতা বেশী হইবে যখন শীতকালে বাতাসের মধ্যে জলীয় বাষ্প কম থাকে। (ii) পারদস্তম্ভের উচ্চতা হঠাৎ কমিয়া গেলে বুঝিতে হইবে যে শীঘ্রই ঝড়ের সম্ভাবনা। কারণ যে স্থানে বায়ুচাপ হঠাৎ কমিয়া যায় সেইস্থানের পার্শ্ববর্তী উচ্চ চাপের বাতাস প্রবল বেগে নিম্নচাপের স্থানে ছুটিয়া আসিয়া ঝড়ের সৃষ্টি করিবে।

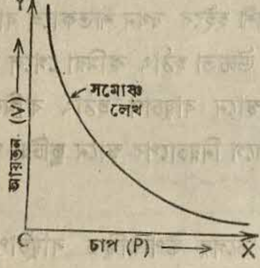
(*b*) **জলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় ঃ**—জলের তলের উপরিস্থিত বায়ুচাপ যখন 76 সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপ অপেক্ষা বেশী কিংবা কম হয় তখন জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C অপেক্ষা বেশী কিংবা কম হয়। এজন্য উঁচু পাহাড়ের উপরে বায়ুচাপ কম থাকায় ওখানে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C-এর অনেক কম হয়। দেখা গিয়াছে যে বায়ুচাপ যখন 760 মি. মি. অপেক্ষা 1 মি. মি. বেশী কিংবা কম হয় তখন জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C হইতে ·037°C বেশী কিংবা কম হয়। কাজেই কোনও স্থানে যদি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা B মি. মি. হয় তাহা হইলে ঐ স্থানের জলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে $[100+(B-760)\times{\cdot}037]$°C। যখন $B<760$, তখন ব্র্যাকেটের মধ্যস্থ দ্বিতীয় রাশি নেগেটিভ হইবে, কাজেই জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C-এর কম হইবে।

(*c*) **সাধারণ বারোমিটারের সাহায্যে কোন তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ নির্ণয় ঃ**—সাধারণ ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উপরে যে স্থান থাকে তাহাতে সামান্য পারদ বাষ্প থাকে যাহার চাপ খুব কম। পারদস্তম্ভের উপরের স্থানে যদি এমন পরিমাণ তরল ঢুকাইয়া দেওয়া যায় যাহাতে পারদতলের উপরে তরলের একটি পাতলা স্তর সঞ্চিত হয় তাহা হইলে ঐ তরল সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পীভূত হইয়া পারদস্তম্ভকে নীচে নামাইয়া দিবে। পারদতলের উপর কিছু তরল সঞ্চিত থাকায় পারদতলের উপরিস্থিত স্থান তরলের বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত থাকিবে। এই সংপৃক্ত বাষ্প পারদতলকে যে দৈর্ঘ্য দ্বারা নীচে নামাইয়া দিবে তাহাই ঘরের উষ্ণতায় প্রদত্ত তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ হইবে।

11-7. আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে বয়েলের সূত্র ঃ গ্যাসের কি কি ধর্ম থাকিলে উহাকে আদর্শ গ্যাস বলা হয় তাহা 9-1 পরিচ্ছেদের শেষে বলা হইয়াছে। যে গ্যাস বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে তাহাকে আদর্শ গ্যাস বলে।

বয়েলের সূত্র ঃ—নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকিলে উহার চাপ, আয়তনের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।

ব্যাখ্যা ঃ—যদি কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের উষ্ণতা, আয়তন ও চাপ যথাক্রমে T, V ও P হয় তাহা হইলে বয়েলের সূত্র অনুযায়ী. $P \propto 1/V$ যখন T স্থির থাকে। অথবা, PV ধ্রুবক হইবে যতক্ষণ উষ্ণতা (T) এবং গ্যাসের পরিমাণ স্থির থাকিবে।



চিত্র 11.7 ঃ সমোষ্ণ লেখ

গ্যাসের পরিমাণ ও উষ্ণতা স্থির রাখিয়া, যদি উহার উপর P_1, P_2, P_3 প্রভৃতি চাপ প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে উহার আয়তন যথাক্রমে V_1, V_2, V_3 প্রভৃতি হইবে এবং উহাদের গুণফল, অর্থাৎ P_1V_1, P_2V_2, P_3V_3 প্রভৃতির মান একই থাকিবে। আবার যদি গ্যাসের বিভিন্ন চাপ (P), x-অক্ষের দিকে (OX-এর দিকে) এবং ঐ চাপের অনুরূপ আয়তন (V) y-অক্ষের দিকে (OY-এর দিকে) প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তাহা হইলে তাহার প্রকৃতি 11.7নং চিত্রে প্রদর্শিত লেখচিত্রের অনুরূপ হইবে। এইরূপ লেখচিত্রকে Rectangular hyperbola বলে।

[বয়েলের সূত্রের বিশদ বিবরণ ও পরীক্ষামূলক প্রমাণের জন্য তাপবিজ্ঞানের 2-19 পরিচ্ছেদ দেখ]।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 11]

1. বায়ুমণ্ডলের চাপ বলিতে কি বুঝ? বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপ বলিতে কি বুঝ? এই প্রমাণ চাপ উল্লেখের সময়, পারদের উষ্ণতা 0°C ধরা হয় কেন এবং স্থান হিসাবে পৃথিবীর 45° অক্ষাংশের সমুদ্রপৃষ্ঠই বা মনোনীত করা হয় কেন? [Art. 11-1)

2. বায়ুর যে ওজন আছে এবং উহা যে সর্বদিকে চাপ প্রয়োগ করিতে পারে তাহার কি কোন পরীক্ষামূলক প্রমাণ আছে? [Art 11-2]

3. টরিসেলির পরীক্ষার বিবরণ দাও এবং ইহা হইতে কি কি বিষয় জানিতে পারা যায়? [Art. 11-3]

4. ফর্টিন ব্যারোমিটারের বিবরণ দাও। ইহা দ্বারা কোনও স্থানের বায়ুমণ্ডলের চাপ কিভাবে পাওয়া যায়? প্রমাণ কর যে বায়ুমণ্ডলের চাপ প্রায় এক মেগাডাইন প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে অথবা প্রায় 15 পাউণ্ড-ওজন প্রতি বর্গ ইঞ্চিতে। [Art. 11-4]

5. এমন একটি ব্যারোমিটারের নাম এবং বর্ণনা কর যাহাতে কোন তরল ব্যবহৃত হয় না। ইহা দ্বারা বায়ুমণ্ডলের উচ্চতা মাপা যায় কি ? [Art. 11-5]

6. ব্যারোমিটারের সাহায্যে কিভাবে (i) আবহাওয়ার পূর্বাভাস দেওয়া যায় এবং (ii) কোনও স্থানে জলের স্ফুটনাঙ্ক নির্ণয় করা যায় ? [Art. 11-6]

7. নিম্নলিখিত পরীক্ষাগুলিতে যাহা দেখা যাইবে তাহার ব্যাখ্যা কর :—(i) 50 ইঞ্চ লম্বা একটি একমুখী কাচের নল সম্পূর্ণরূপে শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ দ্বারা ভর্তি করিয়া উহার খোলা মুখ একটি পারদপাত্রের পারদের মধ্যে ডুবাইয়া নলকে উল্লম্বভাবে রাখা হইল। (ii) নলকে এক পাশে হেলান হইল। (iii) পূর্ব নলের স্থানে একটি মোটা ব্যাসের নল লওয়া হইল। (iv) নলের মধ্যস্থ পারদের উপরে সামান্য জল প্রবেশ করানো হইল যতক্ষণ না জলের একটি পাতলা স্তর গঠিত হয়। (v) 50 ইঞ্চি লম্বা একমুখী নলের মধ্যে পারদ না লইয়া জল লইয়া (i) নং দফায় বর্ণিত পরীক্ষা করিলে কি দেখা যাইবে ? (vi) একটি ব্যারোমিটারকে শূন্যস্থানের মধ্যে রাখিলে কি হইবে ?

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 11]

A. Multiple choice type : (1) বায়ুমণ্ডলের প্রমাণ চাপের সংজ্ঞা বলিতে কি কি বিষয়ের উল্লেখ প্রয়োজন ?—পারদস্তম্ভের উচ্চতা, তাহার উষ্ণতা এবং স্থানটি পৃথিবীর 45° অক্ষাংশের সমুদ্রপৃষ্ঠ হইবে ; কেবলমাত্র পারদস্তম্ভের উচ্চতা এবং বায়ুর ঘনত্বের উল্লেখ প্রয়োজন। (2) ব্যারোমিটার প্রস্তুত করিতে কি পদার্থের প্রয়োজন ?—যে কোন তরল পদার্থ ; শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ। (3) বয়েলের সূত্র কি সব বায়বীয় পদার্থের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য ?—যে সব গ্যাসকে খুব নিম্ন উষ্ণতায় তরল করা যায় সেই সব গ্যাসের ক্ষেত্রেই এই সূত্র প্রযোজ্য ; যে কোন গ্যাস এবং বাষ্পের ক্ষেত্রে এই সূত্র প্রযোজ্য।

B. Recall type : (1) বায়ুমণ্ডল ভূ-পৃষ্ঠের প্রতি বর্গ ইঞ্চের উপর প্রায়—পাউণ্ড-ভার চাপ দেয়। (2) বায়ুর—আছে এবং ইহা সর্বদিকে—প্রয়োগ করে। (3) পারদ অন্যান্য তরল অপেক্ষা—এবং শুষ্ক অবস্থায় পাওয়া যায় এজন্য পারদ লইয়া—গঠন করিলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য—হয়।

C. True or False type : (1) ব্যারোমিটারের নলকে তির্যকভাবে রাখিলে ঐ নলের মধ্যস্থ পারদের দৈর্ঘ্যের কোন পরিবর্তন হয় না। (2) ব্যারোমিটারের নল খুব সরু হইলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য সামান্য কম হয়। (3) বয়েলের সূত্রটি গ্যাসের সব চাপে খাটে না।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 11]

1. সমুদ্রের জলের মধ্য হইতে যখন বায়ুর বুদ্‌বুদ্‌ সমুদ্রপৃষ্ঠে পৌঁছায় তখন উহার আয়তন দশগুণ বৃদ্ধি পায়। বুদ্‌বুদ্‌টি সমুদ্রের কত গভীরতা হইতে আসিয়াছিল ? ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 ইঞ্চি এবং সমুদ্র-জলের ও পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব যথাক্রমে 1·03 ও 13·6। (G. U. 1962, '64)

উঃ। (i) ধরা যাক্ সমুদ্রের x ফুট গভীরতায় বায়ুর বুদ্‌বুদ্‌টির আয়তন ছিল v ঘনফুট এবং মোট চাপ ছিল p_1=(বায়ুমণ্ডলের চাপ$+x$ ফুট সমুদ্র জলের চাপ)।

অথবা, $p_1=\left(\frac{30}{12}\times 13{\cdot}6+x\times 1{\cdot}03\right)$ ফুট বিশুদ্ধ জলের চাপ।

(*ii*) বুদ্‌বুদ্‌টি যখন সমুদ্রপৃষ্ঠে আসিল তখন উহার আয়তন $10\,v$ ঘনফুট এবং মোট চাপ $= p_2 =$ বায়ুমণ্ডলের চাপ $= \left(\frac{30}{12} \times 13{\cdot}6\right)$ ফুট বিশুদ্ধ জলের চাপ।

(*iii*) বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $p_1 v = p_2 \times 10v$।

অথবা, $\left(\frac{30}{12} \times 13{\cdot}6 + x \times 1{\cdot}03\right) v = \left(\frac{30}{12} \times 13{\cdot}6\right) \times 10v$। এই সমীকরণের সমাধান করিলে আমরা পাই, $x = 297$ ফুট।

2. একমুখী 5 ফুট নলের অর্ধেকটা পারদ দ্বারা ভর্তি করা হইল। এই নলের খোলামুখকে একটি পারদপাত্রের পারদের মধ্যে ডুবাইলে নলের মধ্যে কত দৈর্ঘ্যের পারদ থাকিবে? ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 ইঞ্চি।

উঃ। (*i*) যদি নলের প্রস্থচ্ছেদ α বর্গইঞ্চি হয় তাহা হইলে নলকে উল্টাইবার পূর্বে উহার মধ্যস্থ বায়ুর আয়তন $= v_1 = 30\,\alpha$ ঘন ইঞ্চি এবং চাপ $=$ বায়ুমণ্ডলের চাপ $= p_1 = 30$ ইঞ্চি পারদস্তম্ভের চাপ।

(*ii*) নলকে উল্টাইবার পর যদি উহার মধ্যে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য x ইঞ্চি হয় তাহা হইলে নলের মধ্যস্থ বাতাসের আয়তন হইবে $v_2 = (60 - x)\,\alpha$ ঘন ইঞ্চি। এই বাতাসের চাপ হইবে $p_2 = (30 - x)$ ইঞ্চি পারদস্তম্ভের চাপ।

(*ii*) বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $p_1 v_1 = p_2 v_2$। অথবা, $30 \times 30\,\alpha = (30 - x)(60 - x)\,\alpha$ অথবা, $x^2 - 90x + 900 = 0$; অথবা, $x = 11{\cdot}55$ ইঞ্চি কিংবা $78{\cdot}45$ ইঞ্চি। কিন্তু পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য $78{\cdot}45$ হইতে পারে না, কারণ নলের দৈর্ঘ্য মাত্র 60 ইঞ্চি। কাজেই নলের মধ্যে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য হইবে $11{\cdot}55$ ইঞ্চি।

3. একটি সমব্যাসের সরু কাচের নলের মধ্যে 5 সে. মি. দৈর্ঘ্যের একটি পারদস্তম্ভ আছে। নলটির একমুখ বন্ধ অপরমুখ খোলা। নলের বন্ধ মুখটি যখন উল্লম্ব উপরের দিকে থাকে তখন নলের মধ্যের আবদ্ধ বাতাসের দৈর্ঘ্য 25·6 সে মি.। কিন্তু নলের বন্ধ মুখ নীচের দিকে থাকিলে নলে আবদ্ধ বাতাসের দৈর্ঘ্য 22·4 সে.মি. হয়। ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? (Patna, 1947)

উঃ। (*i*) ধরা যাক্ ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা H সে. মি.। নলের বন্ধ মুখ যখন উপরের দিকে ছিল তখন নলের মধ্যের আবদ্ধ বায়ুর চাপ $= p_1 = (H - 5)$ সে. মি. এবং আয়তন $= v_1 = 25{\cdot}6 \times \alpha$ সি. সি. [$\alpha =$ নলের প্রস্থচ্ছেদ]।

(ii) নলের বন্ধ মুখ যখন নীচের দিকে ছিল তখন নলে আবদ্ধ বায়ুরচাপ $= p_2 = (H + 5)$ সে. মি. এবং আয়তন $= v_2 = 22{\cdot}4 \times \alpha$ সি. সি.।

(iii) বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $p_1 v_1 = p_2 v_2$; অথবা $(H - 5) \times 25{\cdot}6\alpha = (H + 5) \times 22{\cdot}4\alpha$। এই সমীকরণের সমাধান করিলে আমরা পাই $H = 75$ সে. মি.। অতএব ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 সে. মি. হইবে।

4. একটি ব্যারোমিটারের নলের প্রস্থচ্ছেদ এক বর্গসেন্টিমিটার এবং ইহার পারদস্তম্ভের উপরে কিছু বাতাস আছে। এই পারদস্তম্ভের উচ্চতা 77 সে. মি. এবং 71 সে. মি. পাওয়া যায় যখন একটি সঠিক ব্যারোমিটারের উচ্চতা যথাক্রমে 78 সে. মি. এবং 71·8 সে.মি. হয়। ত্রুটিযুক্ত ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উপরে যে বাতাস আছে তাহার আয়তন বায়ুমণ্ডলের প্রথম চাপে কত হইবে? [C.U. 1937]

উঃ। ধরা যাক্ ব্যারোমিটারের নলের সম্পূর্ণ দৈর্ঘ্য l সে. মি.। প্রথম ক্ষেত্রে, নলের পারদস্তম্ভের উপরের বাতাসের আয়তন $=v_1=(l-77)\times 1$ সি.সি. এবং চাপ $=p_1=78-77=1$ সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, নলের পারদস্তম্ভের উপরের বাতাসের আয়তন $=v_2=(l-71)\times 1$ সি.সি. এবং চাপ $=p_2=(71·8-71)=·8$ সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান। বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$p_1v_1=p_2v_2$; অথবা, $1\times(l-77)=·8(l-71)$; অথবা $l=101$ সে.মি.।

বায়ুমণ্ডলের 78 সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপে নলে আবদ্ধ বায়ুর আয়তন v সি.সি. হইলে বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $78\,v=1\times(101-77)$; অথবা $v=·31$ সি.সি.।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 11]

1. পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা 30 ইঞ্চি হইলে গ্লিসারিণ ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত হইবে? পারদ এবং গ্লিসারিণের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 13·6 এবং 1·25। [**Ans.** 27·2 ফুট]

2. স্বাভাবিক চাপে এবং উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব 1·293 গ্রাম প্রতি লিটারে। কত চাপে বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব জলের ঘনত্বের সহিত সমান হইবে? [**Ans** 773·4 গুণ বায়ুমণ্ডলের চাপ]

3. স্বাভাবিক চাপে এবং উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলের ঘনত্ব 1·293 গ্রাম প্রতি লিটারে। পারদ ব্যারোমিটারের উচ্চতা যখন 76 সে. মি. হইতে 75 সে. মি. হয় তখন 10 লিটার বায়ুর স্বাভাবিক উষ্ণতায় ও চাপে ভরের কিরূপ তারতম্য হইবে? [**Ans.** ভরের হ্রাস $=1·02$ গ্রাম]

4. 100 সি. সি. আয়তনের একটি বোতলের মুখ নীচের দিকে রাখিয়া সমুদ্রজলের মধ্যে ডুবানো হইল। সমুদ্রের কত গভীরতায় বোতলকে লইয়া গেলে উহার মধ্যে 20 সি. সি. জল প্রবেশ করিবে? সমুদ্রজলের এবং পারদের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 1·025 ও 13·6। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 সে. মি.। [**Ans.** 252·2 সে. মি.]

5. একটি বায়ুর বুদ্‌বুদ্ যখন সমুদ্রের h মিটার গভীরতা হইতে উহার উপরতলে আসিল তখন বুদ্‌বুদের আয়তন দ্বিগুণ হইল। যদি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 সে. মি. হয় এবং পারদ ও সমুদ্রজলের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 13·58 ও 1·05 হয় তাহা হইলে h-এর মান কত হইবে?

(H. S. 1961) [**Ans.** $h=9·7$ মিটার]

6. একটি ত্রুটিযুক্ত ব্যারোমিটারের পাঠ 28 ইঞ্চি এবং 30 ইঞ্চি পাওয়া যায় যখন একটি সঠিক ব্যারোমিটারের পাঠ যথাক্রমে 28·5 ইঞ্চি এবং 31 ইঞ্চি হয়। ত্রুটিযুক্ত ব্যারোমিটারের পাঠ যখন 29 ইঞ্চি পাওয়া যায় তখন সঠিক ব্যারোমিটারের পাঠ কত হইবে? [**Ans.** 29·67 ইঞ্চি]

7. একমুখ খোলা এবং এক মুখ বন্ধ কাচের নলের দৈর্ঘ্য 150 সে. মি.। খোলামুখ উপরের দিকে রাখিয়া উহার অর্ধেক অংশ পারদ দ্বারা ভর্তি করা হইল। নলের খোলা মুখকে একটি পারদপাত্রের

পারদের মধ্যে ডুবাইয়া নলটিকে খাড়াভাবে ধরিলে নলের মধ্যস্থ পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য কত হইবে? একটি সঠিক ব্যারোমিটারের পাঠ 75 সে. মি.। [**Ans.** 28·66 সে, মি.]

8. 400 সি. সি. আয়তনের একটি কর্কের বাতাসে ওজন 100 গ্রাম। বাতাসের ঘনত্ব 1·29 গ্রাম/লিটার হইলে কর্কটির প্রকৃত ওজন কত হইবে? [**Ans.** 100·516 গ্রাম]

9. বায়ুমণ্ডলের 3 সি. সি. বাতাস একটি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উপরে প্রবেশ করাইয়া দিলে ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76 সে. মি. হইতে 12 সে. মি. দ্বারা নামিয়া যায়। ব্যারোমিটারের বায়ুশূন্য স্থানের আয়তন কত ছিল? ব্যারোমিটারের নলের প্রস্থচ্ছেদ এক বর্গ সেন্টিমিটার? [**Ans.** 7 সি. সি.]

10. একটি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 সে. মি.। ইহার মধ্যে বায়ুমণ্ডলের 10 সি. সি. বাতাস প্রবেশ করাইলে পারদস্তম্ভের উচ্চতা 25 সে.মি. হয়। ব্যারোমিটারের নলের মধ্যে বায়ুর আয়তন কত হইবে? (H. S. Comp 1961) [**Ans.** 15 সি. সি].

11. একটি লেকের জলের 238 ফুট নীচে বাতাসের একটি বুদ্‌বুদের ব্যাস এক মিলিমিটার ছিল। ঐ বুদ্‌বুদটি জলের উপরে আসিলে উহার ব্যাস কত হইবে? ব্যারোমিটারের উচ্চতা 34 ফুট জলস্তম্ভের চাপের সমান। [H. S. 1965] [**Ans.** 2 মিলিমিটার]

12. একটি সঠিক ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উপরে, বায়ুমণ্ডলের চাপে, কিছু বাতাস প্রবেশ করান হইল। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 সে. মি হইতে নামিয়া 65 সে. মি.-এ দাঁড়াইল। বায়ু প্রবেশ করানোর পূর্বে যদি পারদস্তম্ভের শূন্যস্থানের দৈর্ঘ্য 6 সে. মি. থাকে এবং নলের প্রস্থচ্ছেদ এক বর্গ সেন্টিমিটার হয় তাহা হইলে কত আয়তনের বাতাস ব্যারোমিটারে প্রবেশ করানো হইয়াছিল? (H. S. 1960) [**Ans.** $2\frac{2}{15}$ সি. সি.]

13. বায়ুর একটি বুদ্‌বুদ্‌ সমুদ্রতলের ·5 কিলোমিটার নীচ হইতে সমুদ্রপৃষ্ঠে আসিল। বুদ্‌বুদের আয়তন কতগুণ বৃদ্ধি পাইল? ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 সে. মি.; সমুদ্রজলের এবং পারদের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 1·03 ও 13·6। [**Ans.** আয়তন 51·5 গুণ বৃদ্ধি পাইবে]

14. একটি সঠিক ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 75 সে. মি. এবং পারদের উপরের শূন্যস্থানের দৈর্ঘ্য 5 সে.মি.। বায়ুমণ্ডলের 2 সি. সি. বাতাস পারদের উপরে প্রবেশ করাইলে পারদস্তম্ভের দৈর্ঘ্য 60 সে.মি.-এ দাঁড়ায়। ব্যারোমিটারের নলের প্রস্থচ্ছেদ কত? [**Ans.** $\frac{1}{2}$ বর্গ সেন্টিমিটার]

15. 800 সি. সি. আয়তনের একটি বোতলের খোলা মুখকে নীচের দিকে রাখিয়া উহাকে একটি পুকুরের জলের মধ্যে ডুবাইতে থাকা হইল। বোতলকে কত গভীরতায় লইয়া গেলে উহার মধ্যে 300 সি. সি. জল প্রবেশ করিবে? ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 সে.মি. এবং পারদের আপেক্ষিক ঘনত্ব 13·6। [**Ans.** 620·16 সে. মি.]

16. একটি অ্যালকোহল ব্যারোমিটারের উচ্চতা কত ফুট হইবে যখন একটি সঠিক ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 সে.মি.? পারদ এবং অ্যালকোহলের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 13·6 ও ·8। [**Ans** 42·38 ফুট]

অধ্যায় 12

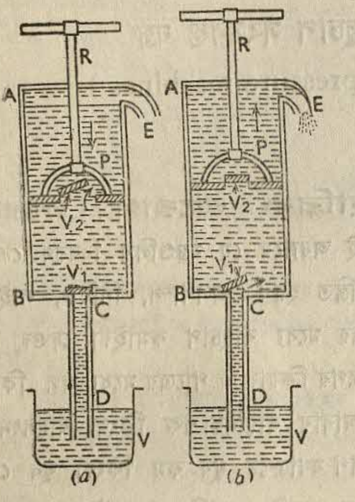
বায়ুচাপ সংক্রান্ত যন্ত্র
(Air-pressure machines)

12-1. বায়ুচাপের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical application of air-pressure) : এই অধ্যায়ে যে যন্ত্রগুলির বিবরণ দেওয়া হইবে তাহাদের ক্রিয়া বায়ুচাপের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। জলপাম্প, সিরিঞ্জ, সাইফন প্রভৃতি যন্ত্রের সাহায্যে একটি আবদ্ধ পাত্রের মধ্যে বায়ুচাপ কমাইয়া দেওয়া হয় এবং ইহার ফলে বাহিরের বাতাসের বেশী চাপের ক্রিয়ায় ঐ পাত্রের মধ্যে জল কিংবা অন্য কোন তরল পদার্থ প্রবেশ করে। আবার বায়ুনিষ্কাশক কিংবা বায়ুসংনমন যন্ত্রের সাহায্যে একটি আবদ্ধ পাত্রের বায়ুর চাপ যথাক্রমে খুব কম কিংবা খুব বেশী করা যায়। বায়ুচাপ নিয়ন্ত্রণকারী সব রকম যন্ত্রেই একাধিক কপাট বা ভাল্‌ভ (valve) থাকে যাহারা কেবলমাত্র একটি সুবিধাজনক দিকে খুলিতে পারে কিন্তু উহার বিপরীত দিকে কপাট বন্ধ হইয়া যায়। কাজেই এই ভাল্‌ভ তরলকে কিংবা বায়বীয় পদার্থকে একদিকে যাইতে দেয় কিন্তু উহারা যখন বিপরীত দিক হইতে আসে তখন ভাল্‌ভ উহাদের যাওয়ার রাস্তা বন্ধ করিয়া দেয়।

12-2. সাধারণ পাম্প বা শোষক পাম্প (Common pump or Suction pump) : **গঠন :**—ইহাতে একটি শক্ত বড় ব্যাসের চোঙ (AB) আছে যাহার নীচে একটি ছোট ব্যাসের লম্বা চোঙ (CD) যুক্ত করা থাকে [12.1 নং চিত্র]। নলের (CD) নীচের খোলামুখ একটি জলাধারের (V) জলের মধ্যে ডুবানো থাকে। চোঙের মধ্যে একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টন (P) একটি দণ্ডের (R) সাহায্যে উঠানো-নামানো যায়। পিস্টনের ছিদ্রমুখে একটি ভাল্‌ভ (V_2) আছে এবং চোঙ (AB) ও নলের (CD) সংযোগস্থলে আর একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে। এই উভয় ভাল্‌ভ কেবলমাত্র উপরের দিকে খুলিতে পারে। বাহিরে জল নির্গমনের জন্য চোঙের উপরে একটি বাঁকানো নল (E) যুক্ত থাকে।

কার্যপ্রণালী :—(i) চোঙের সর্বনিম্ন স্থান হইতে পিস্টনের (P) প্রথম ঊর্ধ্বগতির সময় পিস্টনের নিম্নস্থান প্রায় বায়ুশূন্য হয়। এজন্য বাহিরের বাতাসের চাপে পিস্টনের মধ্যস্থ ভাল্‌ভ (V_2) বন্ধ হইয়া যায় এবং নলের (CD) মধ্যস্থ বায়ুচাপে V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায়। ইহার ফলে নলের বাতাস এবং জলাধারের

কিছু জল চোঙের মধ্যে প্রবেশ করে [12.1 নং চিত্রে দেখানো হয় নাই]। পিস্টনের পরবর্তী নিম্নগতির সময় উহার নীচের বায়ু সংকুচিত হইতে থাকে এবং যখন ঐ সংকুচিত বায়ুর চাপ বাহিরের বাতাসের চাপের বেশী হয় তখন V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া পিস্টনের নীচের বাতাস এবং জল পিস্টনের উপরে যায়। এইভাবে পিস্টনের কয়েকবার নিম্ন ও উর্ধ্বগতি হইলে নল (CD) এবং চোঙ (AB) সম্পূর্ণরূপে জল দ্বারা ভর্তি হইয়া যাইবে [12·1 (a) নং চিত্র দেখ]।



চিত্র 12.1 : শোষক পাম্প

(ii) এক্ষণে পিস্টনের নিম্নগতি হইলে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া পিস্টনের নীচের জল উহার উপরে আসিবে কিন্তু জলের চাপে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে [12·1 (a) নং চিত্র দেখ]। পিস্টনের পরবর্তী উর্ধ্বগতির সময়, পিস্টনের উপরের জলের চাপে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং পিস্টনের উর্ধ্বগতি অব্যাহত রাখিলে উহার উপরের সমস্ত জল নির্গম নল (E) দিয়া বাহিরে চলিয়া যাইবে। বাহিরের বাতাসের চাপে জলাধারের (V) জল পুনরায় V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া পিস্টনের নীচের স্থান জল দ্বারা পূর্ণ করিবে [12·1 (b)নং চিত্র দেখ]। সুতরাং পিস্টনের প্রত্যেক উর্ধ্বগতির সময় উহার উপরের জল বাহিরে আসিবে এবং পিস্টনের নিম্নগতির সময় উহার নীচের জল V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া উহার উপরে আসিবে। জলের নির্গমন কেবলমাত্র পিস্টনের উর্ধ্বগতির সময়ই হইয়া থাকে।

পাম্পের উচ্চসীমা (Limitation of the pump) :—বাহিরের বাতাসের চাপে জলাধারের (V) জল নল ও চোঙের মধ্যে উঠে। বায়ুমণ্ডলের চাপ জলকে 34 ফুটের বেশী তুলিতে পারে না। কিন্তু V_1 ও V_2 ভাল্‌ভের কিছু ওজন থাকায় বায়ুচাপ জলকে 32 ফুটের বেশী তুলিতে পারে না। কাজেই এই পাম্প দ্বারা জল উপরে তুলিতে হইলে জলাধারের জলের তল হইতে পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের নীচতল পর্যন্ত দূরত্ব 32 ফুটের কম রাখিতে হইবে।

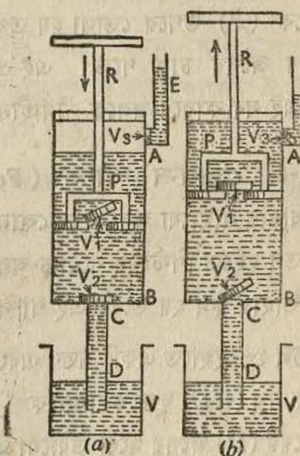
দ্রষ্টব্য : (i) টিউবওয়েলের নলের দৈর্ঘ্য 30 ফুটের অনেক বেশী এবং মাটির যে স্তর হইতে জল তোলা হয় তাহারও গভীরতা 30 ফুটের অনেক বেশী। তাহা সত্ত্বেও সাধারণ পাম্প দ্বারা সেই জল উপরে তোলা সম্ভব হয় কিরূপে ? যে স্তরে জল থাকে সেই স্তরে টিউবওয়েলের নল প্রবেশ করাইলে তরলের সমোচ্চশীলতা ধর্ম

অনুযায়ী [10-7 পরিচ্ছেদের (b) অংশ দেখ] ঐ স্তরের জল 30 ফুটের কম গভীরতায় আসে, সেজন্য ঐ জলকে সাধারণ পাম্প দ্বারা তোলা সম্ভব হয়।

(*ii*) সময়ে সময়ে টিউবওয়েলের পাম্প কাজ করে না কিন্তু এক বাল্‌তি জল টিউবওয়েলের চোঙের মধ্যে ঢালিয়া দিলে কাজ আরম্ভ হয়। ইহার কারণ কি? টিউবওয়েলের পিস্টনের চারিদিকে চামড়ার ওয়াশার থাকে। কিছুদিন পাম্প ব্যবহার না করিলে ঐ চামড়া শুকাইয়া যায়। পাম্পের চোঙের মধ্যে জল ঢালিয়া দিলে ঐ চামড়া ভিজিয়া ফুলিয়া উঠে এবং পিস্টন তখন বায়ুনিরুদ্ধ হয়। এখন পিস্টনকে উঠানো-নামানো করিলে নলের মধ্যস্থ স্থানকে বায়ুশূন্য করা যাইবে এবং ইহার ফলে বাহিরের বাতাসের চাপে জল নল এবং চোঙের মধ্যে উঠিয়া আসিবে।

12-3. উত্তোলক পাম্প (Lift pump) : এই পাম্পের সাহায্যে জলকে 30 ফুটেরও বেশী উচ্চে তোলা যায় কিন্তু জলাধারের জলের তল হইতে পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের নীচতল পর্যন্ত যে দূরত্ব তাহা 30 ফুট কিংবা তাহার কম হইতে হইবে।

গঠন :—ইহাতেও বড় ব্যাসের চোঙের (AB) সহিত একটি ছোট ব্যাসের লম্বা নল (CD) যুক্ত করা আছে। লম্বা নলের খোলা মুখ জলাধারের জলের মধ্যে ডুবানো থাকে। চোঙের (AB) মধ্যে যে পিস্টন (P) আছে তাহার ছিদ্রমুখে একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে এবং চোঙ ও নলের সংযোগস্থলেও অপর একটি ভাল্‌ভ (V_2) আছে [12·2 নং চিত্র]। এই দুই ভাল্‌ভই উপরের দিকে খুলিতে পারে। এখানে জলের নির্গমন নল (E) নীচের দিকে না বাঁকাইয়া উপরের দিকে বাঁকানো থাকে। যেখানে জলকে তুলিতে হইবে সেইস্থানে নির্গমন নলের (E) খোলামুখ উন্মুক্ত হয়। এই নির্গমন নল এবং চোঙের (AB) সংযোগস্থলে আর



চিত্র 12.2 : উত্তোলক পাম্প

একটি ভাল্‌ভ (V_3) আছে যাহা বাহিরের দিকে খুলিতে পারে। অর্থাৎ জল এই ভাল্‌ভ খুলিয়া E-নলে যাইতে পারে কিন্তু E-নলের জল পুনরায় চোঙে (AB) প্রবেশ করিতে পারে না।

কার্যপ্রণালী :—পিস্টনের কয়েকবারে ঊর্ধ্ব-এবং নিম্নগতির পর (অর্থাৎ কয়েকবার পূর্ণগতির পর) উহাকে AB চোঙের সর্বোচ্চ অবস্থানে রাখিলে বাহিরের

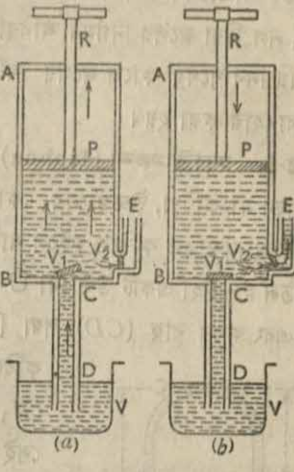
বায়ুর চাপে সম্পূর্ণ নল (CD) এবং পিস্টনের নিম্নস্থিত চোঙ জল দ্বারা ভর্তি হইবে। এক্ষণে পিস্টনের নিম্নগতি হইলে AB চোঙের জল V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া পিস্টনের উপরে আসিবে [12·2 (a) নং চিত্র]। পিস্টনের পরবর্তী উর্ধ্বগতির সময় উহার উপরিস্থিত জল V_3 ভাল্‌ভ খুলিয়া নির্গম-নল E-এর মধ্যে প্রবেশ করিবে। এই সময়ে বাহিরের বাতাসের চাপে জলাধারের (V) জল V_2 ভাল্‌ব খুলিয়া পিস্টনের নিম্নস্থিত স্থানে প্রবেশ করিবে [12·2 (b) নং চিত্র]। পিস্টনের পুনরায় নিম্নগতি হইলে E-নলের জলের চাপে V_3 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং E-নলের জল AB চোঙে আর ফিরিয়া আসিতে পারিবে না। এইভাবে পিস্টনের প্রত্যেক উর্ধ্বগতির সময় উহার উপরিস্থিত জল E-নলে প্রবেশ করিতে থাকিবে এবং ক্রমে ক্রমে উচ্চে উঠিয়া অবশেষে নির্দিষ্ট স্থানে পৌঁছিবে। এখানে পিস্টনের কেবলমাত্র উর্ধ্বগতির সময় জল E-নলে প্রবেশ করিবে।

পাম্পের উচ্চসীমা :—নীতিগতভাবে যদিও এই পাম্পের সাহায্যে জলকে যে-কোন উচ্চতায় উঠানো যায় তবুও বাস্তবে ইহার একটি উচ্চসীমা আছে। E-নলে জলের উচ্চতা যত বাড়ে, ভাল্‌ভ V_3-এর উপর জলের চাপ তত বাড়িতে থাকে, এজন্য E-নল এবং AB চোঙের সংযোগস্থলকে বায়ুনিরুদ্ধ রাখা কঠিন হয়। আবার যখন পিস্টনকে (P) উপরে তোলা হয় তখন V_3 ভাল্‌ভ খুলিয়া যায় এবং পিস্টনের উপর E-নলের জলের চাপ পড়ে। এই প্রবল চাপের জন্য পিস্টনকে উপরে তোলা শক্ত হয়। এই সব কারণে জলকে সীমাহীন উচ্চতায় তোলা যায় না।

12-4. ফোর্স পাম্প (Force pump) : ইহাও একপ্রকার উত্তোলক পাম্প, যাহার সাহায্যে জলকে যে-কোন উচ্চতায় তোলা যায়। কিন্তু জলাধারের জলের তল হইতে পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের নীচতল পর্যন্ত উচ্চতা যদি 30 ফুট কিংবা তাহার কম হয় তবেই এই পাম্প কার্যকরী হইবে।

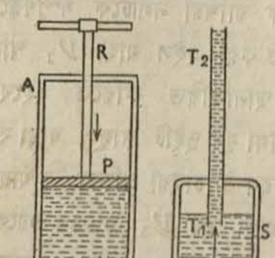
গঠন :—ইহাতে একটি শক্ত এবং বড় ব্যাসের চোঙের (AB) নীচে একটি লম্বা সরু নল (CD) যুক্ত করা থাকে [12·3 নং চিত্র]। নলের (CD) খোলামুখ জলাধারের (V) জলের মধ্যে ডুবানো থাকে। চোঙের (AB) মধ্যে একটি নিরেট পিস্টনকে (P) একটি দণ্ডের (R) সাহায্যে উঠানো-নামানো যাইতে পারে। চোঙ এবং নলের সংযোগস্থলে একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে যাহা কেবলমাত্র উপরের দিকে খুলিতে পারে। জল নির্গমনের জন্য E নল চোঙের নীচে যুক্ত থাকে এবং চোঙ ও নির্গমন নলের সংযোগস্থলে একটি ভাল্‌ভ (V_2) থাকে যাহা কেবল বাহিরের দিকে খুলিতে পারে। অর্থাৎ জল এই V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া E-নলে প্রবেশ করিতে পারে কিন্তু ঐ প্রবিষ্ট জল পুনরায় চোঙে ফিরিয়া আসিতে পারে না।

কার্য-প্রণালী : P পিস্টনকে কয়েকবার উঠানো-নামানোর পর উহাকে চোঙের উপরে রাখিলে সম্পূর্ণ নল (CD) এবং পিস্টনের নিম্নস্থিত চোঙ জলদ্বারা ভর্তি হইবে [12·3 (a) নং চিত্র]। এক্ষণে পিস্টনকে নীচের দিকে নামাইলে উহা জলের উপর বল প্রয়োগ করিবে এবং ইহার ফলে জল V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া E নলে প্রবেশ করিবে [12·3(b) নং চিত্র]। পিস্টনের পরবর্তী ঊর্ধ্বগতির সময় বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে জলাধারের (V) জল V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া AB চোঙের মধ্যে প্রবেশ করিয়া উহাকে ভর্তি করিয়া ফেলিবে। কিন্তু এই সময় E নলের জলের চাপে V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং E নলের প্রবিষ্ট জল AB চোঙে আর ফিরিয়া আসিতে পারিবে না। এইভাবে পিস্টনের প্রত্যেক নিম্নগতির সময় জল E নলে প্রবেশ করিতে থাকিবে এবং ক্রমে ক্রমে উপরে উঠিয়া নির্দিষ্ট স্থানে পৌঁছাইবে। জল কেবলমাত্র পিস্টনের নিম্নগতির সময় E নলে প্রবেশ করিবে, কাজেই ঐ নল (E) হইতে জলের বিরতিযুক্ত (intermittent) নির্গমন হইয়া থাকে।



চিত্র 12.3 : ফোর্স পাম্প

জলের অবিরাম নির্গমনের ব্যবস্থা :—ফোর্স-পাম্পে, জলের নির্গমন অবিরাম করিবার জন্য E নলকে একটি বায়ুপ্রকোষ্ঠের (S) সহিত যুক্ত করা থাকে যাহা বায়ুমণ্ডলের বাতাস দ্বারা পূর্ণ থাকে [12.4 নং চিত্র]। একটি দুই মুখ খোলা নলের (T_1T_2) নিম্নমুখ (T_1) এই প্রকোষ্ঠের প্রায় তলা পর্যন্ত প্রবেশ করানো থাকে। পাম্পের পিস্টনের কয়েকবার নিম্ন-গতি হইলে E নলের সাহায্যে জল এই বায়ুপ্রকোষ্ঠে জমা হইবে এবং উহার মধ্যস্থ বাতাসকে সংকুচিত করিয়া উহার চাপ বৃদ্ধি করিবে। পিস্টনের ঊর্ধ্বগতির সময় জল যখন



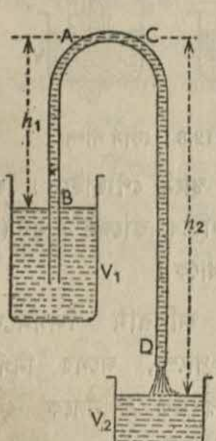
চিত্র 12.4 : জলের অবিরাম নির্গমন

এই বায়ুপ্রকোষ্ঠে প্রবেশ করে না তখন প্রকোষ্ঠের সংকুচিত বাতাসের চাপে জল T_1T_2 নল দিয়া বাহিরে নির্গত হয়। পিস্টনের নিম্নগতির সময় জল পুনরায় বায়ুপ্রকোষ্ঠে প্রবেশ করিয়া উহার মধ্যস্থ বাতাসকে সংকুচিত করিবে এবং এই সংকুচিত বাতাসের চাপে জল এখনও বাহিরে আসিতে থাকিবে। এইভাবে T_1T_2 নল দিয়া জলের নির্গমন অবিরাম করা হয়।

অগ্নি নির্বাপণের কাজে জলের অবিরাম যোগান প্রয়োজন। এক্ষেত্রে এইরূপ পাম্প ব্যবহার করা হয়।

12-5. সাইফন (Siphon) : কোন তরল পদার্থকে না ঢালিয়া কিংবা নাড়াচাড়া না করিয়া, উচ্চস্থানের কোনও পাত্র হইতে নিম্নস্থানের কোনও পাত্রে তরলকে স্থানান্তরিত করিতে হইলে সাইফনের প্রয়োজন হয়।

গঠন :—ইহা একটি উল্টানো U-আকৃতির বাঁকা নল যাহার এক বাহু (AB) ছোট এবং অপর বাহু (CD) লম্বা [12.5 নং চিত্র]। যে তরলকে স্থানান্তরিত করিতে হইবে তাহাকে উচ্চস্থানের একটি পাত্রে (V_1) রাখিতে হইবে। যে পাত্রে তরল জমা হইবে সেই পাত্রকে (V_2) নিম্নস্থানে রাখিতে হইবে। ছোট বাহুর খোলা মুখ উচ্চস্থানের পাত্রের তরলের মধ্যে ডুবানো থাকে এবং লম্বা বাহুর খোলা মুখ নিম্নস্থানের পাত্রের মধ্যে থাকে।



চিত্র 12.5 : সাইফন

ব্যবহার বিধি :—বাঁকানো নলের খোলা মুখ দুইটি উপরের দিকে রাখিয়া নলটিকে সম্পূর্ণরূপে সেই তরল দ্বারা ভর্তি করা হইল যাহা V_1 পাত্র হইতে V_2 পাত্রে স্থানান্তরিত করিতে হইবে। এক্ষণে U-নলের খোলা মুখ দুইটি আঙ্গুল দ্বারা বন্ধ করিয়া (যাহাতে তরল উপচাইয়া পড়িয়া না যায়) নলটিকে উল্টানো হইল এবং ইহার ছোট বাহুর খোলা মুখ V_1 পাত্রের তরলের নীচ পর্যন্ত ডুবাইয়া বড় বাহুর খোলা মুখকে V_2 পাত্রে রাখা হইল। আঙ্গুল সরাইয়া লইলে তরল V_1 পাত্র হইতে V_2 পাত্রে ক্রমাগত প্রবাহিত হইতে থাকিবে যতক্ষণ না V_1 পাত্রের সমস্ত তরল স্থানান্তরিত হয়।

কার্য-প্রণালীর ব্যাখ্যা :—বাঁকানো নলের উচ্চসীমায় একই অনুভূমিক সমতলে অবস্থিত দুইটি বিন্দু A ও C লওয়া লইল। ধরা যাক্ V_1 ও V_2 পাত্রের তরলের উপরতল হইতে A ও C বিন্দুর উচ্চতা যথাক্রমে h_1 ও h_2 ($h_1 < h_2$)। যদি বায়ুমণ্ডলের চাপ P হয় এবং তরলের ঘনত্ব ρ হয় তাহা হইলে A ও C বিন্দুতে

তরলের চাপ যথাক্রমে p_1 ও p_2 হইবে। সুতরাং $p_1 = P - h_1\rho g$ এবং $p_2 = P - h_2\rho g$। কিন্তু $h_2 > h_1$, কাজেই $p_2 < p_1$। অর্থাৎ, C বিন্দুতে তরল যে চাপ $(=p_2)$ দিতেছে তাহা অপেক্ষা A বিন্দুতে তরলের চাপ $(=p_1)$ বেশী। গৃহীত তরল পদার্থের দ্বারা গঠিত ব্যারোমিটারের উচ্চতা h_1 অপেক্ষা বেশী কাজেই বায়ুমণ্ডলের চাপে তরল V_1 পাত্র হইতে A পর্যন্ত উঠিবে। আবার C বিন্দু অপেক্ষা A বিন্দুতে তরলের চাপ বেশী থাকায় তরল A বিন্দু হইতে C বিন্দুতে প্রবাহিত হইবে। তরল তাহার ওজনের জন্য C বিন্দু হইতে V_2 পাত্রে প্রবাহিত হইবে। এইভাবে তরল V_1 পাত্র হইতে V_2 পাত্রে ক্রমাগত প্রবাহিত হইতে থাকিবে।

সাইফনের ক্রিয়ার শর্ত :—(i) সাইফন বায়ুশূন্য স্থানে কাজ করিতে পারে না। (ii) সাইফনের ছোট বাহুর (AB) দৈর্ঘ্য, স্থানান্তরিত তরল পদার্থ দ্বারা গঠিত ব্যারোমিটারের উচ্চতা অপেক্ষা কম হইতে হইবে। (iii) যে পাত্র (V_1) হইতে তরলকে স্থানান্তরিত করিতে হইবে তাহাকে উচ্চস্থানে রাখিতে হইবে এবং যে পাত্রে (V_2) তরল জমা হইবে তাহা নিম্নস্থানে থাকিবে। (iv) যদি দীর্ঘ বাহুর (CD) C বিন্দু হইতে x দূরে একটি ছিদ্র করা হয় তাহা হইলে V_1 পাত্র হইতে V_2 পাত্রে তরলের প্রবাহ অব্যাহত থাকিবে যখন $x > h_1$ কিন্তু ঐ প্রবাহ থামিয়া যাইবে যখন $x < h_1$।

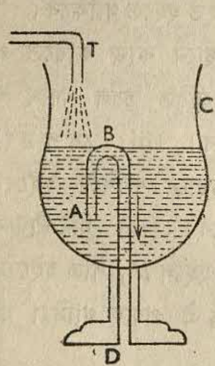
12-6. সাইফনের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Practical applications of siphon) : (*a*) **ট্যানটালাস্ কাপ** (Tantalus cup) :—ইহাতে অত্যাচারী রাজা ট্যানটালাসের শাস্তির ব্যবস্থা প্রদর্শন করিয়া, সাইফনের ক্রিয়া জানিবার কৌতুহলকে বৃদ্ধি করা হইয়াছে। এই ব্যবস্থায় একটি পাত্রের (C) মধ্যে পুতুল (L) আটকাইয়া ঐ পুতুলের মধ্যে একটি সাইফন (ABD) লুকাইয়া রাখা হয়। সাইফনের লম্বা বাহুর মুখ (D) পাত্রের তলদেশের বাহিরে থাকে কিন্তু ছোট বাহুর মুখ (A) পাত্রের মধ্যে থাকে (12.6নং চিত্র)। সাইফনের উচ্চতম বিন্দু (B) পুতুলের ঠোঁটের ঠিক নীচেই থাকে। পাত্রে জল ঢালিতে থাকিলে জলের তল ক্রমশঃ উপরে উঠিতে থাকে এবং জলের তল যখন সাইফনের ছোট বাহুর A মুখ ছাড়াইয়া উপরে উঠে তখন জল সাইফনের AB নলেও প্রবেশ করিতে থাকে। জলের তল যখন সাইফনের উচ্চতম স্থানে (B) পৌঁছায় তখন ঐ জল সাইফনের লম্বা বাহুর (BD) মধ্য দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়। ইহার ফলে পাত্রে (C) জলের তল পুতুলের ঠোঁটে



চিত্র 12.6 : ট্যানটালাস কাপ

পৌঁছিবার পূর্বেই নীচে নামিয়া যায়। কাজেই পিপাসার্ত রাজার ঠোঁটের কাছে জল আসিয়াও দূরে সরিয়া গেল।

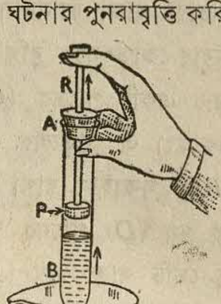
(b) **স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ** (Automatic flush) :—সাইফনের নীতি প্রয়োগ করিয়া, সাধারণের ব্যবহৃত পায়খানার বা প্রস্রাবাগারের অপরিষ্কৃত স্থানগুলি মাঝে মাঝে জলপ্রবাহ দ্বারা ধৌত করা হয়। এই প্রকার পায়খানার কিংবা প্রস্রাবাগারের উপরে একটি জলাধার (C) থাকে তাহার মধ্যে একটি সাইফন (ABD) লাগানো থাকে [12.7 নং চিত্র]। এই সাইফনের ছোট বাহুর (BA) মুখ (A) জলাধারের প্রায় নীচে থাকে কিন্তু বড় বাহুর (BD) মুখ (D) একটি নলের সঙ্গে যুক্ত করিয়া ঐ নলের নীচের খোলা মুখ অপরিষ্কৃত স্থানে উন্মুক্ত করা হয়। কল (T) হইতে জলাধারের মধ্যে অনবরত জল পড়ে এবং এই জলের তল জলাধারে (C) এবং সাইফনের ছোট বাহুর (BA) মধ্যে ক্রমশঃ উঠিতে থাকে। যখন জলের তল সাইফনের উচ্চতম স্থানে (B) পৌঁছায় তখন লম্বা বাহুর(BD) মধ্য দিয়া জলাধারের জল বেগে প্রবাহিত হইয়া অপরিষ্কৃত স্থানকে ধৌত করিয়া দেয়। জলাধারের জলের তল যখন সাইফনের ছোট বাহুর উন্মুক্ত মুখের (A) নীচে যায় তখন জলের নির্গমন বন্ধ হয়। পুনরায় C জলাধারে জল জমা হইয়া পূর্বের ঘটনার পুনরাবৃত্তি করিবে।



চিত্র 12.7 : স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ

এই ভাবে নির্দিষ্ট সময় পর পর অপরিষ্কৃত স্থানটি জলপ্রবাহের দ্বারা ধৌত করা হয়। এই ব্যবস্থাকে **স্বয়ংক্রিয় ফ্লাশ** বলে।

12-7. পিচকারী (Syringe) : ইহা একটি দুই মুখ খোলা কাঁচের নল (AC) যাহার নীচ মুখ (BC) ক্রমশঃ সরু হইয়া গিয়াছে [12.8 নং চিত্র]। নলের উপরের খোলামুখের (A) মধ্যে একটি দণ্ডযুক্ত পিস্টনেক (P) প্রবেশ করানো থাকে। এই পিস্টন বায়ুনিরুদ্ধভাবে নলের মধ্যে চলাফের করিতে পারে।

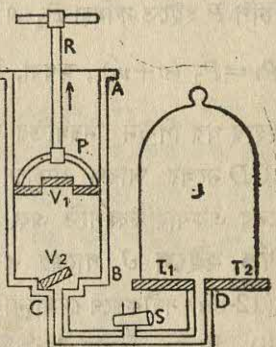


চিত্র 12.8 : পিচ্‌কারী

ক্রিয়া (Action) :—নলের সরু মুখ কোন তরলের মধ্যে ডুবাইয়া পিস্টনকে নীচ হইতে উপরের দিকে টানিয়া লইয়া গেলে পিস্টনের নিম্নস্থান বায়ুশূন্য হইবে এবং বায়ুমণ্ডলের চাপে পাত্রস্থ কিছু তরল নলের

পিস্টনের নীচে বায়ুশূন্য স্থানে প্রবেশ করিবে। এক্ষণে পিচ্‌কারীকে বাহিরে আনিলে উহার নলে প্রবিষ্ট তরল বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্ব চাপে নলের সরু মুখ দিয়া পড়িয়া যাইতে পারিবে না। পিস্টনকে নলের নীচের দিকে ঠেলিতে থাকিলে উহার চাপে প্রবিষ্ট তরল নলের সরু মুখ দিয়া বেগে প্রবাহিত হইয়া যাইবে। এইরূপ পিচকারীর সাহায্যে ডাক্তারেরা ইনজেক্‌সন দিয়া থাকেন। এই একই নিয়মে, চোখে ঔষধ দিবার ড্রপার, সরবৎ খাইবার নল প্রভৃতি কাজ করে।

12-8. বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প (Exhaust pump or Air-pump) :
গঠন :—ইহাতে একটি বড় ব্যাসের শক্ত চোঙ (AB) আছে যাহার মধ্যে একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টনকে (P) একটি দণ্ডের (R) সাহায্যে উঠানো-নামানো যাইতে পারে [12·9 নং চিত্র]। এই চোঙের নীচের একটি ছিদ্রমুখ (C) এবং একটি প্লেটের (T_1T_2) ছিদ্রমুখ (D) বাঁকানো নল (CD) দ্বারা যুক্ত করা আছে। এই নলের (CD) সহিত একটি স্টপকক্‌ (S) যুক্ত করা আছে। প্লেটের (T_1T_2) উপর একটি বড় কাচপাত্র (J) বায়ুনিরুদ্ধভাবে বসানো আছে যাহার মধ্য হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে হইবে। পিস্টনের (P) মধ্যে একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে এবং চোঙ ও নলের সংযোগস্থলে আর একটি ভাল্‌ভ (V_2) আছে, যাহারা উভয়েই উপরের দিকে খুলিতে পারে।



চিত্র 12.9 : বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প

ক্রিয়া (Action) :—চোঙের নিম্নতম স্থান হইতে পিস্টনকে উঠাইতে থাকিলে পিস্টনের নিম্নস্থ স্থান বায়ুশূন্য হইবে। বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ থাকিবে। J পাত্রের আবদ্ধ বায়ুর চাপে V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং ঐ পাত্রের বাতাস পিস্টনের নিম্নস্থিত বায়ুশূন্য স্থানে আসিয়া জমা হইবে। ইহার ফলে J পাত্রের বাতাসের চাপ কমিয়া যাইবে।

পিস্টনের নিম্নগতির সময় পিস্টনের নিম্নস্থ বাতাস সংকুচিত হইতে থাকিবে এবং চাপও বাড়িতে থাকিবে। এই চাপ বৃদ্ধির জন্য V_2 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে। পিস্টনের নিম্নগতি অব্যাহত রাখিলে উহার নিম্নস্থিত বাতাসের চাপ বাড়িতে বাড়িতে যখন বাহিরের বায়ুমণ্ডলের চাপের বেশী হইবে তখন V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং পিস্টনের নিম্নস্থিত সব বাতাস বাহিরে চলিয়া যাইবে।

এইভাবে পিস্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতির সময় J পাত্রের বাতাস পিস্টনের নীচের বায়ুশূন্য স্থানে প্রবেশ করিয়া J পাত্রের বাতাসের চাপ কমাইয়া দিবে এবং পিস্টনের

প্রত্যেক নিম্নগতির সময় চোঙের মধ্যে প্রবিষ্ট বাতাস সংকুচিত হইয়া বাহিরে চলিয়া যাইবে। পিস্টনের কয়েকবার ঊর্ধ্বগতি এবং নিম্নগতি হইলে J পাত্রের বাতাসের চাপ খুব কমিয়া যাইবে কিন্তু একেবারে শূন্য হইবে না।

J-পাত্রের বাতাসের চাপ নির্ণয় ঃ—ধরা যাক প্রথমবারে পিস্টন যখন চোঙের (AB) সর্বনিম্ন স্থানে ছিল তখন পাত্র (J) এবং নলের (CD) আবদ্ধ বাতাসের আয়তন এবং চাপ যথাক্রমে v এবং P এবং পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের নীচতল হইতে V_2 ভাল্‌ভ পর্যন্ত AB চোঙের আয়তন v'।

(i) এক্ষণে পিস্টনের প্রথম ঊর্ধ্বগতির সময় যখন উহা চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে আসিবে তখন J পাত্রের এবং CD নলের আবদ্ধ বাতাসের আয়তন $(v+v')$ হইবে এবং চাপ P হইতে কমিয়া P_1-এ দাঁড়াইবে। বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$$Pv=P_1(v+v')\text{ ; অথবা, } P_1=\frac{v}{v+v'}P \quad \cdots \quad \cdots \quad (12\text{-}8a)$$

ইহার পর পিস্টন নিম্নগতির দ্বারা চোঙের সর্বনিম্ন স্থানে পৌঁছিলে J পাত্রের এবং CD নলের আবদ্ধ বাতাসের আয়তন v এবং চাপ P_1 থাকিবে। অতএব পিস্টনের একবার ঊর্ধ্বগতি এবং একবার নিম্নগতি হইলে অর্থাৎ পিস্টনের **একবার পূর্ণগতি হইলে** J পাত্রের এবং CD নলের আবদ্ধ বাতাসের চাপ P_1 হইবে যাহা (12-8a) সমীকরণে দেখানো হইয়াছে।

(ii) পিস্টন দ্বিতীয় ঊর্ধ্বগতির সময় চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে আসিলে J পাত্রের এবং CD নলের v আয়তনের বাতাসের আয়তন হইবে $(v+v')$ এবং চাপ P_1 হইতে কমিয়া P_2-তে দাঁড়াইবে। বয়েলের সূত্র অনুযায়ী,

$$P_1 v=P_2(v+v')\text{ ; অথবা, } P_2=\left(\frac{v}{v+v'}\right)P_1=\left(\frac{v}{v+v'}\right)^2 P \quad \cdots \quad (12\text{-}8b)$$

পিস্টন তাহার দ্বিতীয় নিম্নগতির সময় যখন চোঙের সর্বনিম্ন স্থানে আসিবে তখন J পাত্রে এবং CD নলে যে বাতাস থাকিবে তাহার আয়তন হইবে v এবং চাপ হইবে P_2। অতএব পিস্টনের **দুইবার পূর্ণগতি হইলে** J পাত্রের এবং CD নলের আবদ্ধ বাতাসের চাপ P_2 হইবে যাহা (12-8b) সমীকরণে দেখানো হইয়াছে।

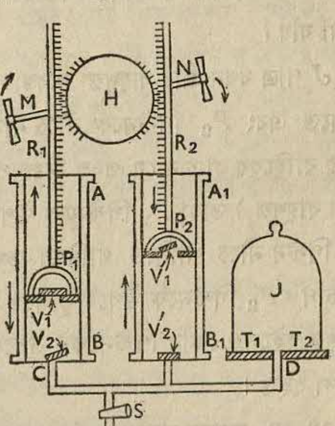
(iii) পিস্টনের n বার পূর্ণগতির পর J পাত্রের এবং CD নলের মধ্যস্থ বাতাসের চাপ হইবে, $P_n=\left(\frac{v}{v+v'}\right)^n P.$ $\cdots$ $\cdots$ (12-8c)

যেহেতু নির্দিষ্ট ভরের বাতাসের ঘনত্ব (ρ) উহার চাপের (P) সমানুপাতিক, সেইহেতু পিস্টনের n সংখ্যক পূর্ণগতির পর J পাত্রের এবং CD নলের আবদ্ধ বাতাসের ঘনত্ব (ρ_n) হইবে $\rho_n=\left(\frac{v}{v+v'}\right)^n \rho$ $\cdots$ $\cdots$ (12-8d)

এখানে $\rho = J$ চোঙের ও CD নলের মধ্যস্থ বাতাসের প্রারম্ভিক ঘনত্ব। (12-8c) ও (12-8d) সমীকরণদ্বয় হইতে বোঝা যায় যে, n-এর মান যাহাই হউক না কেন $\left(\frac{v}{v+v'}\right)^n$ কখনই শূন্য হইবে না। কাজেই P_n কিংবা ρ_n কখনই শূন্য হইবে না।

12-9. হক্সবীর (Hawksbee's) দুই চোঙ বিশিষ্ট বায়ু-নিষ্কাশক পাম্প ঃ পূর্ব-পরিচ্ছেদে যে একচোঙ-বিশিষ্ট বায়ুনিষ্কাশক পাম্প বর্ণিত হইয়াছে তাহাতে দুইটি প্রধান অসুবিধা দেখা দেয়, যথা—(i) J পাত্রের বাতাসের চাপ, কেবলমাত্র চোঙের মধ্যস্থ পিস্টনের ঊর্ধ্বগতির সময়ই কমিতে থাকে। ইহার ফলে J পাত্রের বায়ুর চাপ মোটামুটি কম করিতে হইলে অনেক সময় লাগিয়া যায়। (ii) J পাত্রের বায়ুর চাপ যখন খুব কম হইয়া আসে তখন চোঙের পিস্টনের নীচে খুব কম বায়ুচাপ থাকে কিন্তু বাহিরের বায়ুমণ্ডলের প্রচণ্ড নিম্নচাপে পিস্টনকে উপরে তোলা খুবই কষ্টকর হয়। এই দুই অসুবিধা 'হক্সবীর' দুই চোঙবিশিষ্ট বায়ুনিষ্কাশক পাম্পে দূর করা হইয়াছে।

পাম্পের বিবরণ ঃ—এই পাম্পের দুই চোঙের (AB ও A_1B_1) মধ্যে দুইটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টনকে (যথাক্রমে P_1 ও P_2) উঠানো-নামানো যায় কিন্তু এক চোঙের পিস্টন যখন উপরে উঠে তখন অপর চোঙের পিস্টন নীচে নামে। পিস্টন দুইটিকে দাঁতযুক্ত দুইটি দণ্ডের (যথাক্রমে R_1 ও R_2) সহিত যুক্ত করা আছে [12·10নং চিত্র]। পিস্টন দণ্ডদ্বয়ের দাঁতগুলি একটি চাকার (H) পরিধির দুই পাশের দাঁতের মধ্যে লাগিয়া থাকে। একটি হাতলের (MN) সাহায্যে এই চাকাকে একটি অনুভূমিক অক্ষদণ্ডের উপর এমনভাবে ঘুরানো যায় যে যখন চাকার একধার নীচে নামিয়া একটি পিস্টন দণ্ডকে নীচে নামায় তখন চাকার (H) অপর ধার উপরে উঠিয়া অপর পিস্টনদণ্ডকে উপরে তোলে। একটি নলের (CD) সাহায্যে দুই চোঙের নীচের ছিদ্র দুইটির সহিত প্লেটের (T_1T_2) ছিদ্রটির যোগাযোগ রক্ষা করা হইয়াছে। প্লেটের (T_1T_2) উপর J পাত্র রাখা হইয়াছে যাহার মধ্য হইতে বায়ুনিষ্কাশন করিতে হইবে। প্রত্যেক চোঙের পিস্টনের মধ্যে একটি করিয়া ভাল্ভ (V_1 ও V_1') আছে যাহারা কেবলমাত্র উপরের দিকে খুলিতে পারে।



চিত্র 12.10 ঃ হক্সবীর বায়ুনিষ্কাশক পাম্প

প্রত্যেক চোঙের নীচের ছিদ্রমুখেও একটি করিয়া ভাল্‌ভ (V_2 ও V_2') আছে যাহারা উপরের দিকে খুলিতে পারে।

ক্রিয়া ঃ—ধরা যাক্, প্রারম্ভিক অবস্থায় P_1 পিস্টন AB চোঙের নীচে আছে এবং P_2 পিস্টন A_1B_1 চোঙের উপরে আছে। এক্ষণে হাতল (MN) ঘুরাইয়া P_1 পিস্টনকে উপরে তুলিলে এবং P_2 পিস্টনকে নীচে নামাইলে J পাত্রের বাতাস V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া কেবলমাত্র AB চোঙে প্রবেশ করিতে পারিবে কিন্তু A_1B_1 চোঙের পিস্টনের (P_2) নিম্নস্থ বাতাস ক্রমশঃ সংকুচিত হইবে এবং পরে ভাল্‌ভ V_1' খুলিয়া বাহিরে চলিয়া যাইবে [12.10 নং চিত্রে পাম্পের এই অবস্থা দেখান হইয়াছে]। ইহার ফলে J পাত্রের বাতাসের চাপ কমিয়া যাইবে।

পরের বারে হাতলকে (MN) উল্টাদিকে ঘুরাইয়া যখন P_1 পিস্টনকে নীচে নামানো হইবে এবং P_2 পিস্টনকে উপরে তোলা হইবে তখন J পাত্রের বাতাস V'_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া A_1B_1 চোঙে প্রবেশ করিবে এবং P_1 পিস্টনের নীচের বাতাস ক্রমশঃ সংকুচিত হইবে এবং পরে V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া বাহিরে চলিয়া যাইবে [পাম্পের এই অবস্থা 12.10 নং চিত্রে দেখান নাই]।

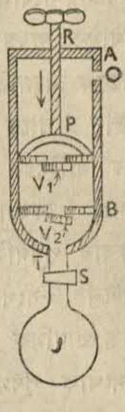
এইভাবে J চোঙের বাতাস পর্যায়ক্রমে AB ও A_1B_1 চোঙে প্রবেশ করিবে, যখন P_1 ও P_2 পিস্টনকে যথাক্রমে পর্যায়ক্রমে উপরে উঠানো হইবে। ইহা দ্বারা J পাত্রের বাতাস দ্রুত নিষ্কাশিত হয় এবং ঐ স্থান খুব অল্প সময়েই প্রায় বায়ুশূন্য হইয়া যায়।

J পাত্র যখন প্রায় বায়ুশূন্য অবস্থায় আসে, তখন যদি P_1 পিস্টনকে উপরে তুলিতে এবং P_2 পিস্টনকে নীচে নামাইতে যাওয়া যায়, তাহা হইলে P_2 পিস্টনের উপর বাহিরের বাতাস যে প্রবল নিম্নচাপ প্রয়োগ করিবে (কারণ P_2-এর নিম্নস্থান প্রায় বায়ুশূন্য) তাহা P_1 পিস্টনকে উপরে তুলিতে সাহায্য করিবে। আবার যখন P_1 পিস্টন নীচে আসিতে থাকিবে তখন উহার উপর বাহিরের বাতাসের প্রবল নিম্নচাপ P_2 পিস্টনকে উপরে তুলিতে সাহায্য করিবে। এই কারণে J পাত্র প্রায় বায়ুশূন্য হইলেও কোন পিস্টনকেই উপরে তোলা কষ্টকর হয় না যাহা এক-চোঙবিশিষ্ট পাম্পে হইত।

12-10. বায়ু-সংনমন পাম্প (Air-compression pump) ঃ এই পাম্পের সাহায্যে কোন আবদ্ধ স্থানে বায়ুচাপ বৃদ্ধি করা যায়।

পাম্পের গঠন ঃ—ইহাতে একটি মোটা ও শক্ত চোঙ (AB) আছে যাহার মধ্যে একটি বায়ুনিরুদ্ধ পিস্টনকে (P) উহার সংলগ্ন দণ্ডের (R) সাহায্যে উঠানো-নামানো যাইতে পারে [12.11 নং চিত্র]। চোঙের নিম্নপ্রান্তের সহিত, J পাত্রকে (যাহার মধ্যে বাতাসের চাপ বৃদ্ধি করিতে হইবে) একটি স্টপকক্ যুক্ত (S) নল (T)

দ্বারা যুক্ত করা থাকে। পিস্টনের মধ্যে একটি ভাল্‌ভ (V_1) আছে এবং চোঙের নিম্নপ্রান্ত ও T-নলের সংযোগস্থলে আর একটি ভাল্‌ভ (V_2) আছে। এই উভয় ভাল্‌ভ-ই নীচের দিকে খুলিতে পারে। চোঙের মধ্যে পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের ঠিক নীচেই একটি ছিদ্র (O) রাখিলে পিস্টনের মধ্যের ভাল্‌ভের (V_1) না লইয়া পিস্টনকে নিরেট করিলেই চলে।



চিত্র 12.11 : বায়ু-সংনমন পাম্প

ক্রিয়া :—(i) মনে করা যাক্, প্রথমে পিস্টন চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে ছিল। এক্ষণে পিস্টনের নিম্নগতি হইতে থাকিলে উহার নিম্নস্থিত বাতাস সংকুচিত হইবে এবং এই সংকুচিত বাতাসের চাপ বৃদ্ধির জন্য পিস্টনের মধ্যস্থ ভাল্‌ভ (V_1) বন্ধ হইয়া যাইবে কিন্তু V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে। পিস্টনের নিম্নগতি অব্যাহত রাখিলে উহার নিম্নস্থিত সমস্ত বাতাস খোলা ভাল্‌ভের (V_2) মধ্য দিয়া J পাত্রে প্রবেশ করিবে এবং ঐ পাত্রের মধ্যস্থ বায়ুচাপ বৃদ্ধি করিবে [12.11 নং চিত্র দেখ]।

(ii) এইবার পিস্টনের ঊর্ধ্বগতি হইতে থাকিলে [যাহা 12.11 নং চিত্রে দেখান নাই] উহার নিম্নস্থিত স্থান বায়ুশূন্য হইবে এবং বাহিরের বাতাসের চাপের আধিক্য-হেতু V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে এবং বাহিরের বায়ুমণ্ডলের কিছু বাতাস পিস্টনের নীচে প্রবেশ করিবে। পিস্টন যখন চোঙের সর্বোচ্চস্থানে আসিবে তখন বাহিরের বাতাস দ্বারা সম্পূর্ণ চোঙ ভর্তি হইয়া যাইবে। [পিস্টন যদি নিরেট হয় তাহা হইলে উহার নীচের স্থান বায়ুশূন্যই থাকিবে যতক্ষণ না পিস্টনটি চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে পৌঁছিবে। পিস্টন এখানে পৌঁছিলেই, বাহিরের বাতাস O ছিদ্রের মধ্য দিয়া চোঙে প্রবেশ করিয়া সম্পূর্ণ চোঙকে ভর্তি করিবে।]

(iii) পিস্টনের নিম্নগতি দ্বিতীয় বারের জন্য হইলে উহার নিম্নস্থিত বায়ুমণ্ডলের বাতাস সংকুচিত হইবে এবং এই সংকুচিত বাতাসের চাপ-বৃদ্ধির ফলে V_1 ভাল্‌ভ বন্ধ হইয়া যাইবে এবং V_2 ভাল্‌ভ খুলিয়া যাইবে। যখন চোঙের সব বাতাস খোলা ভাল্‌ভের (V_2) মধ্য দিয়া J পাত্রে প্রবেশ করিবে তখন পিস্টন চোঙের সর্বনিম্ন স্থানে আসিবে [12·11 নং চিত্র দেখ]।

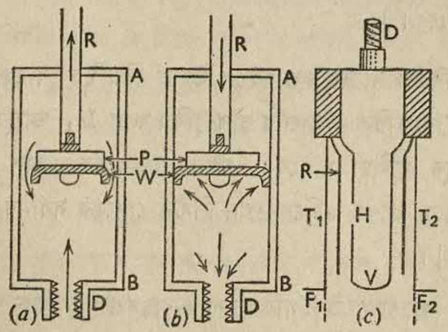
(iv) এইভাবে পিস্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতির সময় বায়ুমণ্ডলের কিছু বাতাস চোঙে প্রবেশ করিবে এবং পিস্টনের প্রত্যেক নিম্নগতির সময় চোঙের মধ্যে প্রবিষ্ট বায়ুমণ্ডলের বাতাস J পাত্রে প্রবেশ করিয়া উহার মধ্যস্থ বায়ুর চাপ বৃদ্ধি করিতে থাকিবে। এইভাবে J পাত্রে বায়ুর চাপ ইচ্ছামত বৃদ্ধি করা যায়।

J পাত্রের বায়ুর চাপ নির্ণয় ঃ—ধরা যাক্, J পাত্রের আয়তন v এবং পিস্টনের সর্বোচ্চ অবস্থানের নীচতল হইতে V_2 ভাল্‌ভ পর্যন্ত চোঙের আয়তন v'। প্রাথমিক অবস্থায় পিস্টন যদি চোঙের সর্বোচ্চ স্থানে থাকে তাহা হইলে পিস্টনের প্রত্যেক নিম্নগতির সময় চোঙে আবদ্ধ v' আয়তনের এবং ρ ঘনত্বের বায়ুমণ্ডলের বাতাস J পাত্রে প্রবেশ করিবে যাহার ভর $v'\rho$ হইবে। পিস্টনের প্রত্যেক ঊর্ধ্বগতির সময় বাহিরের বায়ুমণ্ডলের v' আয়তনের এবং ρ ঘনত্বের বাতাস V_1 ভাল্‌ভ খুলিয়া (কিংবা O ছিদ্রের মধ্য দিয়া) চোঙে প্রবেশ করিবে। অর্থাৎ পিস্টনের একবার পূর্ণগতি হইলে $v'\rho$ পরিমাণ বাতাস J পাত্রে প্রবেশ করিবে। সুতরাং পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণগতির পর J পাত্রে প্রবিষ্ট বাতাসের পরিমাণ হইবে $nv'\rho$। কিন্তু প্রাথমিক অবস্থায় J পাত্রে $v\rho$ পরিমাণ বাতাস ছিল। অতএব পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণগতির পর J পাত্রের বাতাসের মোট পরিমাণ হইবে $v\rho+nv'\rho=(v+nv')\rho$ যাহা $v\rho_n$-এর সহিত সমান হইবে। কারণ শেষ পর্যায়ে J পাত্রে যে বাতাস থাকিতেছে তাহার আয়তন v এবং ঘনত্ব ρ_n। অতএব পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণগতির পর, $v\rho_n=(v+nv')\rho$; অথবা, $\rho_n=\left(1+\frac{nv'}{v}\right)\rho$ ··(12·10a)

যদি বায়ুমণ্ডলের বাতাসের চাপ P হয় এবং পিস্টনের n-সংখ্যক পূর্ণ গতির পর J পাত্রের বাতাসের চাপ P_n হয় তাহা হইলে (12·10a) সমীকরণের পরিবর্তিত রূপ হইবে $P_n=\left(1+\frac{nv'}{v}\right)P$ [কারণ $P\propto\rho$] ···(12.10b)

12-11. বায়ু-সংনমন পাম্পের প্রয়োগ ঃ

(*a*) **বাই-সাইকেল পাম্প ঃ**—ইহার পিস্টনের (P) মধ্যে কোন ভাল্‌ভ থাকে না কিংবা এই পাম্পের চোঙের (AB) নীচেও (D) কোন ভাল্‌ভ নাই। কিন্তু নির্গমন দ্বারের ভিতর (D) প্যাঁচ কাটা থাকে [12.12 (a) ও (b) নং চিত্রদ্বয় দেখ]। ইহার পিস্টনের সহিত উল্টানো কাপের আকৃতির একটি চামড়ার ওয়াশার (W) লাগানো থাকে যাহা ভাল্‌ভের কাজ করে।



চিত্র 12.12 ঃ সাইকেল পাম্প

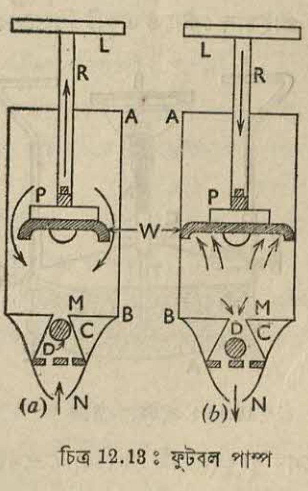
পিস্টনের ঊর্ধ্বগতির সময় উহার নিম্নস্থিত স্থানের বায়ুচাপ কমিয়া যায় এবং

বাহিরের বাতাসের চাপে AB চোঙ এবং ওয়াশারের (W) মাঝে সামান্য ফাঁক হয় যাহার মধ্য দিয়া বাহিরের বাতাস পিস্টনের নিম্নস্থ চোঙে প্রবেশ করে [12.12(a) চিত্র]।

পিস্টনের নিম্নগতির সময় উহার নীচের বাতাস পিষ্ট হয় এবং এই পিষ্ট বাতাসের চাপবৃদ্ধি হেতু ওয়াশার (W) এবং চোঙের (AB) দেওয়ালের মধ্যস্থ ফাঁক বন্ধ হইয়া যায়। ইহার ফলে পিস্টনের নিম্নস্থিত সমস্ত বাতাস টায়ারের মধ্যস্থ রবার টিউবের সহিত যুক্ত ভাল্‌ভের মধ্য দিয়া টিউবে প্রবেশ করে। কিন্তু এই প্রবিষ্ট বাতাস আর বাহিরে না আসিতে পারিয়া টিউবের মধ্যস্থ বাতাসের চাপ বাড়াইয়া দিবে [12.12(b) চিত্র]।

টায়ারের রবার টিউবের সহিত যে ভাল্‌ভ যুক্ত থাকে তাহার গঠন 12.12(c) নং চিত্রে দেখানো হইল। এই ভাল্‌ভ-টিউবের (V) গায়ে একটি ছিদ্র (H) থাকে। সাধারণ অবস্থায় একটি রবারের পাত (R) এই ছিদ্রমুখকে (H) বায়ু নিরুদ্ধভাবে বন্ধ করিয়া রাখে। এই ভাল্‌ভ-টিউবের উপরে একটি প্যাঁচকাটা নল (D) আছে যাহাকে, পাম্প করার সময়, একটি ছোট নল দ্বারা AB চোঙের নিম্নপ্রান্তের (D) সহিত যুক্ত করা হয়। ধাতু নির্মিত একটি চোঙের (T_1T_2) আবরণের মধ্যে ভাল্‌ভ-টিউবকে (V) সুরক্ষিত রাখা হয়। এই চোঙটিকে (T_1T_2) চাকার ফ্রেমের উপর (F_1F_2) দৃঢ়ভাবে যুক্ত করিয়া রাখা হয় [12.12(c) নং চিত্র দেখ]।

(b) **ফুটবল পাম্প** :—ফুটবল পাম্পের চোঙের (AB) পিস্টনে কোন ভাল্‌ভ থাকে না। এই পিস্টনের সহিত উল্টানো কাপের আকৃতির একটি চামড়ার ওয়াশার (W) লাগানো থাকে যাহা একটি ভাল্‌ভের কাজ করে [12·13নং চিত্র]। পাম্পের চোঙের (AB) নিম্নপ্রান্তের সরুমুখের (M) সংলগ্ন একটি প্রকোষ্ঠের (C) মধ্যে একটি হাল্‌কা বল (D) থাকে যাহা অপর একটি ভাল্‌ভের ন্যায় কাজ করে। ফুটবল ব্লাডারে বায়ু প্রবেশ করাইবার সময় পাম্পের অগ্রভাগ (N), ব্লাডারের নলের মুখের সহিত বায়ু-নিরুদ্ধভাবে আটকাইয়া দেওয়া হয়।



চিত্র 12.13 : ফুটবল পাম্প

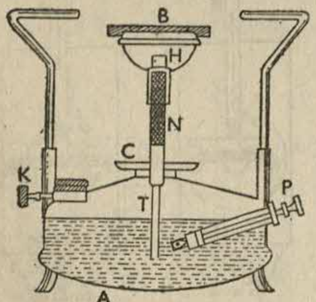
পিস্টনের ঊর্ধ্বগতির সময় উহার নিম্নস্থিত চোঙের বায়ুচাপ কমিয়া যায় এবং বাহিরের বায়ুর চাপের আধিক্যহেতু AB চোঙ এবং ওয়াশারের (W) মধ্যে সামান্য ফাঁক হইয়া যায়। এই ফাঁকের মধ্য দিয়া বাহিরের বাতাস পিস্টনের নিম্নস্থিত

চোঙে প্রবেশ করে [12.13 (*a*) নং চিত্র]। এই সময় ব্লাডারের মধ্যস্থ বায়ুচাপের আধিক্যহেতু, হাল্‌কা বলটি (D) চোঙের (AB) নিম্নপ্রান্তের সরু মুখকে (M) বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করিয়া ফেলে, যাহার ফলে ব্লাডারের মধ্যের বাতাস আর বাহিরে আসিতে পারে না [12.13 (*a*) নং চিত্র]।

পিস্টনের নিম্নগতির সময় উহার নীচের বাতাস পিস্ট হয় এবং এই পিস্ট বাতাসের বর্ধিত চাপের জন্য ওয়াশার (W) এবং চোঙের দেওয়ালের মধ্যে ফাঁক বায়ু নিরুদ্ধভাবে বন্ধ হইয়া যায়। পিস্টনের নিম্নস্থিত পিষ্ট বাতাস হাল্কা বলকে (D) চোঙের ছিদ্রমুখ (M) হইতে নীচে নামাইয়া দিবে এবং প্রকোষ্ঠের (C) নীচে একটি বহু ছিদ্রযুক্ত জালে (H) বাধাপ্রাপ্ত হইয়া ঐ বল (D) ওখানে আটকাইয়া যাইবে। পিস্টনের নীচের সংকুচিত বাতাস জালের ফাঁকের মধ্য দিয়া ব্লাডারে প্রবেশ করিয়া ঐ স্থানের বায়ুচাপ বাড়াইয়া দিবে [12.13 (*b*) নং চিত্র]।

(*c*) **পাম্পযুক্ত স্টোভ ও বাতি** :—যে সব স্টোভ এবং বাতিতে (যেমন পেট্রোম্যাক্স) কোন দাহ্য তেলের বাষ্পকে জ্বালানো হয় সেখানেও এই বায়ুসংনমন পাম্পের ব্যবহার দেখা যায়। ইহাদের পাম্পের গঠন এবং ক্রিয়া ফুটবল-পাম্পের অনুরূপ। অর্থাৎ, পিস্টনের মধ্যে একটি চামড়ার ওয়াশার থাকে এবং পাম্পের চোঙের শেষে একটি হাল্‌কা বল একটি প্রকোষ্ঠের মধ্যে আবদ্ধ থাকিয়া ভাল্‌ভের কাজ করে [12.13 নং চিত্র দেখ]। যে প্রকোষ্ঠে বল থাকে তাহার নীচে বহুছিদ্র-যুক্ত একটি জাল লাগানো থাকে।

প্রাইমাস স্টোভে একটি পিতলের তৈলপাত্রের (A) সহিত এই পাম্প (P) যুক্ত থাকে। এই তৈলপাত্রের উপরতলের মাঝখানে একটি চোঙ (T) আছে যাহার ভিতরে একটি তারের জাল (N) থাকে। উপরে একটি বার্নার (B) থাকে যাহার সংস্পর্শে উত্তপ্ত তৈলবাষ্প আসিয়া জ্বলিতে থাকে [12·14 নং চিত্র]।

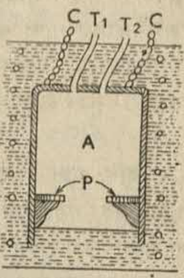


12.14 : প্রাইমাস স্টোভ

তৈলপাত্রটি তেল দ্বারা আংশিক ভর্তি করা থাকে। পাম্পের সাহায্যে ঐ তেলের মধ্যে বায়ু প্রবেশ করাইলে ঐ বাতাস তেলে বুদ্‌বুদ্‌ সৃষ্টি করিয়া তেলের উপরিস্থিত স্থানে জমা হইবে এবং ঐ স্থানের বায়ুচাপ বৃদ্ধি করিবে। এই বায়ুচাপে, একটি সরু ছিদ্রের (যাহাকে nipple বলে) মধ্য দিয়া তেল তীব্রবেগে বাহির হইয়া বার্নারের গায়ে লাগে। C-কাপে স্পিরিট জ্বালাইয়া বার্নারকে গরম করিলে উহা তেলকে বাষ্পে পরিণত করিবে। এই

উত্তপ্ত বাষ্পে অগ্নিসংযোগ করিলে উহা জ্বলিতে থাকে। তৈলবাতিতে বার্নারের স্থানে ম্যান্টল (mantle) থাকে যাহা খুব গরম হইয়া আলো দিতে থাকে।

12-12. ডুবুরীর নিমজ্জন-যন্ত্র (Diving Bell) ঃ ইহা ডুবুরীদের ব্যবহার্য একটি যন্ত্র। ইহা ঘণ্টার আকৃতির একটি খুব ভারী চোঙ (A) যাহার উপরের মুখ বন্ধ এবং নীচের মুখ খোলা [12.15 নং চিত্র]। এই চোঙের মাঝামাঝি স্থানে একটি পাটাতন (P) লাগানো থাকে যাহার উপর মানুষ যন্ত্রপাতি রাখিয়া জলের গভীরে অনুসন্ধান কার্য চালায়। এই যন্ত্রকে লোহার চেইনের (C) সাহায্যে জলের নীচে নামাইয়া দেওয়া হয়। এই চোঙ যত জলের নীচে যায়, উহার মধ্যস্থ আবদ্ধ বাতাস তত সংকুচিত হয় এবং চোঙের ভিতরে জলের তল বাহিরের জলের তলের অনেক নীচে থাকে। চোঙের ভিতরে জলের তলকে আরও নীচে রাখিবার জন্য উপর হইতে একটি নলের (T_1) সাহায্যে চোঙের মধ্যে আরও বাতাস পাম্প করিয়া দেওয়া হয় এবং ভিতরের দূষিত বাতাস আর একটি চোঙের (T_2) সাহায্যে বাহিরে আনা হয়।



চিত্র 12.15 ঃ ডুবুরীর যন্ত্র

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 12]

1. কোন তরলকে কোনরূপ আলোড়িত বা নাড়াচাড়া না করিয়া কি প্রকারে ঐ তরলকে (i) নীচ হইতে উপরে কিংবা (ii) উপর হইতে নীচে স্থানান্তরিত করা যায়? এই স্থানান্তরিত করিবার কোন উচ্চসীমা আছে কি? [Art. 12-2 ও 12-5]

2. সাধারণ শোষক পাম্প 30 ফুটের বেশী নীচ হইতে জল তুলিতে পারে না কিন্তু নলকূপে (টিউব ওয়েলে) ঐ পাম্পের দ্বারা 200 ফুট নীচের জলও পাম্প করিয়া তোলা হয়। ইহা কিরূপে সম্ভব হয় বুঝাইয়া দাও। [Art. 12-2(i)]

3. উত্তোলক পাম্পের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। জমিতে জলসেচের জন্য 35 ফুটের বেশী গভীর কুয়া হইতে জল তুলিতে এই পাম্প কিভাবে কাজ করে? [Art. 12-3]

4 ফোর্স পাম্পের বিবরণ দাও। ইহার সহিত শোষক পাম্পের পার্থক্য কি? এই পাম্পের দ্বারা জল তোলার কোন উচ্চসীমা আছে কি? এই পাম্প হইতে যে জল বাহির হয় তাহার গতি সবিরাম না অবিরাম? যদি সবিরাম হয় তাহা হইলে জলের গতি কি উপায়ে অবিরাম করা যায়? [Art. 12-4]

5. সাইফনের ক্রিয়া বর্ণনা কর। কি কি শর্তে সাইফন কাজ করে? ইহা দ্বারা তরলকে উচ্চস্থান হইতে নিম্নস্থানে স্থানান্তর করিবার সুবিধা কি? [Art. 12-5]

6. সাইফনের ব্যবহারিক প্রয়োগের দুইটি দৃষ্টান্তের ব্যাখ্যা কর। [Art. 12-6]

7. একটি সাধারণ বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের বিবরণ দাও। ইহা দ্বারা কোনও স্থানকে একেবারে বায়ুশূন্য করা যায় কি? অঙ্কশাস্ত্রের প্রয়োগ দ্বারা ইহা বুঝাইয়া দাও। ইহাকে বায়ুসংনমন যন্ত্রে পরিণত করিতে হইলে কি কি পরিবর্তন প্রয়োজন? [Art. 12-8]

8. হক্সবীর দুই চোঙ-বিশিষ্ট বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। এই পাম্পের সুবিধা কি? [Art. 12-9]

9. একটি সাধারণ বায়ুসংনমন পাম্পের বিবরণ দাও এবং ইহার কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। পিস্টনের 10 বার পূর্ণগতির পর কোন আবদ্ধ পাত্রে বায়ুচাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। ইহার কি পরিবর্তন করিলে ইহাকে বায়ুনিষ্কাশক পাম্পে পরিণত করা যায়? [Art. 12-10]

10. বাই সাইকেল পাম্প ও ফুটবল পাম্পের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি? উহাদের গঠন ও কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। বায়ু-সংনমন পাম্পের ব্যবহারিক প্রয়োগের দৃষ্টান্ত দাও। [Art. 12-11]

11. ডুবরীরা সমুদ্রের জলের গভীরে যাইয়া কিভাবে অনুসন্ধান কার্য চালায় তাহা বুঝাইয়া দাও। [Art. 12-12]

12. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সংক্ষিপ্ত ব্যাখ্যা লিখ :—(i) টিউব ওয়েলের পাম্প যখন কাজ করে না তখন উহার মধ্যে এক বাল্‌তি জল ঢালিয়া দিলে কাজ শুরু করে কেন? (ii) আগুন নিবাইবার জন্য কোন পাম্প ব্যবহার করা সুবিধা? (iii) সাইফনের সাহায্যে 45 ইঞ্চি গভীরতার একটি পারদপূর্ণ পাত্র হইতে সব পারদ স্থানান্তর করা কি সম্ভব?

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 12]

A. Multiple choice type : (1) সাধারণ শোষক পাম্পের সাহায্যে জলকে কত নীচু হইতে তোলা যায়?—প্রায় 30 ফুট ; যে-কোন গভীরতা হইতে। (2) সাইফনের সাহায্যে 3 ফুট গভীরতার একটি পারদপূর্ণ পাত্রের সমস্ত পারদ স্থানান্তরিত করা সম্ভব হইবে কি?—যে-কোন গভীরতার পারদপূর্ণ পাত্রের সমস্ত পারদ স্থানান্তরিত করা যাইবে ; কেবলমাত্র 30 ইঞ্চি গভীরতার পারদপূর্ণ পাত্রের পারদ স্থানান্তরিত করা সম্ভব। (3) বায়ু নিষ্কাশক পাম্প দ্বারা একটি আবদ্ধ পাত্রকে একদম বায়ুশূন্য করা যায় কি?—হাঁ ; একদম বায়ুশূন্য করা যায় না।

B. Recall type : (1) একটি শোষক পাম্পের সাহায্যে জলকে যত—হইতে তোলা সম্ভব, অ্যালকোহলকে তাহা অপেক্ষা—নীচু হইতে তোলা সম্ভব। (2) এক চোঙযুক্ত বায়ুনিষ্কাশক পাম্প দ্বারা যে হারে বায়ুনিষ্কাশন করা যায়, দ্বিচোঙবিশিষ্ট বায়ুনিষ্কাশক পাম্প দ্বারা তাহা অপেক্ষা—হারে বায়ুনিষ্কাশন করা যায়। (3) সাধারণের ব্যবহৃত শৌচাগার সমূহকে মাঝে মাঝে জল দ্বারা ধৌত করিবার জন্য উপরের ট্যাঙ্কে একটি—সাইফন যুক্ত করা থাকে।

C. True or False type : (1) ফোর্স পাম্পের সাহায্যে জলকে যে-কোন উচ্চতায় অবিরাম গতিতে প্রবাহিত করা যায়। (2) উত্তোলক পাম্পের সাহায্যে জলকে যে উচ্চতায় তোলা যায় শোষক পাম্পের সাহায্যেও জলকে একই উচ্চতায় তোলা যায়। (3) সাইফনের ছোট বাহুর দৈর্ঘ্য 30 ইঞ্চির বেশী হইলে কোন পারদ পাত্রের পারদকে স্থানান্তরিত করা যায় না।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 12]

1. একটি শোষক পাম্পের চোঙের ব্যাস 4 ইঞ্চি এবং ইহার 6 ইঞ্চি দৈর্ঘ্যের মধ্যে পিস্টন চলাফেরা করিতে পারে। পিস্টনের কত সংখ্যক ঊর্ধ্বগতি হইলে 50

গ্যালন জল তোলা যাইবে, যদি প্রতি ঊর্ধ্বগতির সময় শতকরা 10 ভাগ জল স্খলিত হইয়া যায়? এক ঘনফুট জল $=6{\cdot}25$ গ্যালন।

উঃ। পিস্টনের প্রতি ঊর্ধ্বগতিতে যে জল উঠিবে তাহার আয়তন হইবে, চোঙের প্রস্থচ্ছেদ $\times$ পিস্টনের সরণের দৈর্ঘ্য $=\pi\times4\times6$ ঘন ইঞ্চি, অথবা উত্থিত জলের আয়তন $\dfrac{24\pi\times{\cdot}9}{12^3}$ ঘন ফুট $=\dfrac{24\pi\times{\cdot}9\times6{\cdot}25}{12^3}$ গ্যালন [কারণ শতকরা 90 ভাগ জল উত্তোলিত হয়] অতএব 50 গ্যালন জল তুলিতে পিস্টনের ঊর্ধ্বগতির সংখ্যা হইবে, $n=\dfrac{50\times12^3}{24\pi\times{\cdot}9\times6{\cdot}25}=204$ (প্রায়)।

2. একটি বায়ুসংনমন পাম্পের চোঙের প্রস্থচ্ছেদ $=5$ বর্গ সেন্টিমিটার এবং উহার যে দৈর্ঘ্যের মধ্যে পিস্টন চলাফেরা করিতে পারে তাহার পরিমাণ 20 সে. মি। একটি আবদ্ধ পাত্রের আয়তন 2 লিটার হইলে উহার মধ্যে বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের তিন-গুণ চাপ বৃদ্ধি করিতে পিস্টনের কতগুলি পূর্ণগতির প্রয়োজন হইবে?

উঃ। আমরা জানি $P_n=(1+nv'/v)\,P$। এখানে $P_n/P=3$; $v'=5\times20=100$ সি.সি. ; $v=2$ লিটার $=2000$ সি.সি.। এইগুলি উপরের সমীকরণে বসাইলে, আমরা পাই $3=1+n\,\dfrac{100}{2000}$; অথবা, $2=\dfrac{n}{20}$; অথবা, $n=40$।

3. একটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের পিস্টনের 4টি পূর্ণগতির পর কোন আবদ্ধ পাত্রের বায়ুচাপ বায়ুমণ্ডলের চাপের 1/3 হয়। পিস্টনের 6টি পূর্ণগতির পর আবদ্ধ পাত্রে বায়ুচাপ কত হইবে?

উঃ। (12-8c) সমীকরণ হইতে আমরা পাই, $\dfrac{P_n}{P}=\left(\dfrac{v}{v+v'}\right)^n$। প্রথম ক্ষেত্রে $\frac{1}{3}=\left(\dfrac{v}{v+v'}\right)^4$ এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $x=\dfrac{P_n}{P}=\left(\dfrac{v}{v+v'}\right)^6$। অতএব, আমরা লিখিতে পারি, $\left(\dfrac{v}{v+v'}\right)^{12}=\left(\dfrac{1}{3}\right)^3=x^2$; অথবা, $x=\dfrac{1}{3\sqrt{3}}$ বায়ুমণ্ডলের চাপ।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 12]

1. একটি সাধারণ শোষক পাম্পের সাহায্যে ·8 আপেক্ষিক ঘনত্বের তরলকে কত উচ্চতায় তোলা যাইবে যখন ব্যারোমিটারের উচ্চতা 76 সে. মি. পারদ-স্তম্ভের সমান। [**Ans.** 12·92 মিটার]

2. একটি বায়ু নিষ্কাশক পাম্পের চোঙের যে দৈর্ঘ্যের মধ্যে পিষ্টন চলাফেরা করে তাহার আয়তন আবদ্ধ পাত্রের (যাহার মধ্য হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে হইবে) আয়তনের 1/5 অংশ। পিষ্টনের কত সংখ্যক পূর্ণগতি হইলে আবদ্ধ পাত্রের বায়ুর ঘনত্ব (125 : 216) অনুপাতে কমিয়া যাইবে? [**Ans.** $n=3$]

3. একটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের পিষ্টনের 4টি পূর্ণগতির পর আবদ্ধ পাত্রের বাতাসের ঘনত্ব (256 : ·625) অনুপাতে কমিয়া যায়। চোঙের আয়তনের সহিত আবদ্ধ পাত্রের আয়তনের অনুপাত কত হইবে? [**Ans.** $v'/v = 1 : 4$]

4. একটি সাইফনের নলের আভ্যন্তরীণ ব্যাসার্ধ $3/\sqrt{\pi}$ ইঞ্চি এবং ইহার বড় এবং ছোট বাহুর দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 20 ইঞ্চি এবং 14 ইঞ্চি। ছোট বাহুটিকে তরলের 6 ইঞ্চি গভীরে ডোবান আছে। তরলের প্রবাহের গতিবেগ নির্ণয় কর এবং প্রতি সেকেণ্ডে কত আয়তনের তরল নির্গত হইবে তাহাও নির্ণয় কর।

সংকেত : [প্রাথমিক অবস্থায়, বড় বাহুর উচ্চতম বিন্দুতে যে চাপ ছিল তাহা অপেক্ষা ছোট বাহুর উচ্চতম বিন্দুর চাপ বেশী ছিল যাহার জন্য তরল প্রবাহিত হইতেছিল। এই চাপ পার্থক্য $= (h_2 - h_1)\rho g$। এখানে h_2 = বড় বাহুর খোলা মুখ হইতে উহার উচ্চতম বিন্দুর দূরত্ব = 20 ইঞ্চি $= \frac{20}{12}$ ফুট। h_1 = তরলের তল হইতে ছোট বাহুর উচ্চতম বিন্দুর দূরত্ব $= 14 - 6 = 8$ ইঞ্চি $\frac{8}{12}$ ফুট। কাজেই চাপ-পার্থক্য $= \frac{20-8}{12} \times \rho \times 32 = 32\rho$ পাউণ্ডাল। এই চাপ পার্থক্য তরলের (যাহার ঘনত্ব $= \rho$) গতিশক্তির সহিত সমান হইবে। অতএব, $32\rho = \frac{1}{2}\rho v^2$; অথবা, $v = 8$ ফুট-প্রতি সেকেণ্ডে = তরলের গতিবেগ (প্রাথমিক অবস্থায়)।

প্রাথমিক অবস্থায়, প্রতি সেকেণ্ডে যে তরল নির্গত হইবে তাহার আয়তন হইবে V = নলের প্রস্থচ্ছেদ × তরলের গতিবেগ $= \pi \times \left(\frac{3}{12\sqrt{\pi}}\right)^2 \times 8 = \frac{8}{16} = \cdot 5$ ঘনফুট প্রতি সেকেণ্ডে।]

5. সাইফনের সাহায্যে কেরোসিন তেলকে (আ. গু. = ·8) একটি প্রতিবন্ধক অতিক্রম করাইয়া আনিতে হইবে। প্রতিবন্ধকের উচ্চতা সর্বাপেক্ষা কত বেশী করা যাইতে পারে যাহাতে সাইফনের ক্রিয়া সবেমাত্র চালু থাকে। বায়ুমণ্ডলের চাপ = 30 ইঞ্চি পারদস্তম্ভের চাপের সমান। [**Ans.** 42·5 ফুট]

6. কেরোসিন তেল ভর্তি একটি 30 মিটার উচ্চতার ট্যাঙ্ক হইতে কেরোসিন (আ. গু. = ·8) স্থানান্তরিত করিবার জন্য একটি সাইফনের ছোট বাহু সম্পূর্ণরূপে ট্যাঙ্কের তলা পর্যন্ত ডুবাইয়া রাখা হইল এবং সাইফনের বড় বাহুর খোলা মুখ ট্যাঙ্কের অনেক নীচে রাখা হইল। কিছুক্ষণ পর দেখা গেল যে কেরোসিন আর নির্গত হইতেছে না। ইহার কারণ ব্যাখ্যা কর। এই সময় ট্যাঙ্কের মধ্যস্থ তেলের উচ্চতা কত থাকিবে? ব্যারোমিটারের উচ্চতা 11 মিটার জলস্তম্ভের সমান] [**Ans.** 16·25 মিটার]

7. ডুবুরীর একটি নিমজ্জন ঘন্টের দৈর্ঘ্য 6 ফুট এবং প্রস্থচ্ছেদ 10 বর্গফুট। (i) ইহার উপরপ্রান্ত জলের তলের 31 ফুট নীচে রাখিলে উহার কত দৈর্ঘ্যের মধ্যে জল উঠিবে? (ii) বায়ুমণ্ডলের চাপ 34 ফুট জলস্তম্ভের চাপের সমান হইলে বায়ুমণ্ডলের কি আয়তনের বায়ু ঐ ঘন্টের মধ্যে প্রবেশ করাইলে জল ঐ ঘন্টে মোটেই প্রবেশ করিবে না? [**Ans.** (i) 3 ফুট ; (ii) 65·3 ঘন ফুট]

8. একটি বায়ুসংনমন পাম্পের চোঙের আয়তন 75 সি. সি. এবং আবদ্ধ পাত্রের আয়তন 1000 সি. সি.। পিষ্টনের কত সংখ্যক পূর্ণগতি হইলে আবদ্ধ পাত্রে বায়ুচাপ, বায়ুমণ্ডলের বায়ুচাপের চারগুণ হইবে? (Cal. U. 1925 ; Gauhati, 1952) [**Ans.** 40]

9. একটি বায়ুনিষ্কাশক পাম্পের চোঙের আয়তন 250 সি. সি. এবং যাহার মধ্য হইতে বায়ু নিষ্কাশন করিতে হইবে তাহার আয়তন 1250 সি. সি.। বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব ·001293 গ্রাম/সি. সি. থাকিলে পিষ্টনের 10 বার পূর্ণগতির পর রিসিভারে বায়ুর ঘনত্ব কত থাকিবে? কত ভরের বাতাস এইভাবে বাহিরে আসিল? [**Ans.** $\rho' =$ ·0002087 গ্রাম/সি. সি. এবং বিতাড়িত বাতাস 1·356 গ্রাম]

10. একটি বায়ুসংনমন পাম্পের চোঙের আয়তন অপেক্ষা উহার রিসিভারের আয়তন 30 গুণ বেশী। পিষ্টনের কত সংখ্যক পূর্ণগতির পর রিসিভারে বায়ুমণ্ডলের চারগুণ চাপ হইবে? [**Ans.** 90]

অধ্যায় 13

তরলের পৃষ্ঠটান ও সান্দ্রতা [Surface Tension and Viscosity of Liquids]

13-1. তরলের পৃষ্ঠটান (Surface tension of liquids) : যখন খুব সামান্য তরল লইয়া, উহাকে অভিকর্ষ বল এবং অন্য কোনরূপ বলের প্রভাব হইতে মুক্ত করা হয় তখন তরলের পৃষ্ঠতলের আকার এমনভাবে পরিবর্তিত হয় যাহাতে উহার ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হইতে পারে। তরলের এই ধর্ম নিম্নলিখিত পরীক্ষা ও কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা দ্বারা প্রমাণিত হয়।

(i) মনে কর জলের সহিত উপযুক্ত পরিমাণ অ্যালকোহল মিশাইয়া এমন একটি মিশ্রণ প্রস্তুত করা হইল যাহার ঘনত্ব এবং জলপাই তেলের (olive oil) ঘনত্ব সমান। এক্ষণে খানিকটা জলপাই তেল ঐ মিশ্রণের মধ্যে ঢালিয়া দিলে ঐ তেলের ওজন (যাহা খাড়া নীচের দিকে ক্রিয়া করিতেছে) এবং উহার উপরে মিশ্রণের প্লবতা (buoyancy) [যাহা খাড়া উপরের দিকে ক্রিয়া করিতেছে] সমান হইবে। জলপাই তেলের উপর এই দুই সমান ও বিপরীতমুখী বল পরস্পর পরস্পরকে প্রশমিত করিবে। এই অবস্থায় জলপাই তেল অভিকর্ষের প্রভাব হইতে মুক্ত হইবে। এক্ষণে দেখা যাইবে যে তেল একটি গোলকের আকার ধারণ করিয়াছে। আমরা জানি যে একটি নির্দিষ্ট আয়তনের তরলের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হয় যখন উহা গোলকের আকার ধারণ করে। অতএব জানা গেল যে কোন তরলকে অভিকর্ষ বল কিংবা অন্য কোনরূপ বলের প্রভাব হইতে মুক্ত রাখিলে উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হয়।

(ii) যখন শিশির বিন্দুর আকার খুব ছোট থাকে (অর্থাৎ যখন উহার উপর অভিকর্ষ বল খুব নগণ্য থাকে) তখন উহা প্রায় গোলকের আকার ধারণ করে, অর্থাৎ উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হইতে চেষ্টা করে। আবার পদ্মপত্রে সামান্য জল ঢালিলেও উহার আকার প্রায় গোল হয়।

(iii) টেবিলের উপর খুব অল্প পরিমাণ পারদ রাখিলে উহাও গোলকের আকার ধারণ করে।

উপরের ঘটনাগুলি হইতে বোঝা যাইতেছে যে যখন তরলের উপর অভিকর্ষ বল কিংবা অন্য কোন বলের ক্রিয়া খুব নগণ্য হয় তখন তরলের পৃষ্ঠতলে এমন একটি বল ক্রিয়াশীল হয় যাহা উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলকে সর্বনিম্ন করিতে চেষ্টা করে। তরলের এই ধর্ম হইতে এইরূপ সিদ্ধান্তে আসা যায় যে, তরলের পৃষ্ঠতল যেন কোন টানযুক্ত

একটি স্থিতিস্থাপক পর্দা দ্বারা আবৃত করা আছে যাহার টানে ঐ পর্দা সংকুচিত হইয়া তরলের পৃষ্ঠতলকেও সংকুচিত করিতেছে এবং তরলের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলকেও সর্বনিম্ন করিতে চেষ্টা করিতেছে। তরলের পৃষ্ঠতলের স্পর্শকের দিকে যে টান কল্পনা করা হইল তাহাকে তরলের পৃষ্ঠটান (surface tension) বলা হয় যাহার সংজ্ঞা নিম্নলিখিত ভাবে দেওয়া হয়।

সংজ্ঞা :—তরলের পৃষ্ঠের উপর যদি একক দৈর্ঘ্যের কোন সরলরেখা কল্পনা করা হয় তাহা হইলে ঐ সরলরেখার সমকোণে এবং তরল পৃষ্ঠের স্পর্শকের দিকে যে বল ক্রিয়া করিয়া ঐ সরলরেখার দুই পাশের তরলকে পৃথক করিতে চেষ্টা করে সেই বলের পরিমাপই হইবে তরলের **পৃষ্ঠটানের** পরিমাপ। অতএব

সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে পৃষ্ঠটানের একক হইবে **'ডাইন প্রতি সেন্টিমিটারে'** এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে উহার এককের নাম হইবে 'পাউণ্ডাল প্রতি ফুটে'।

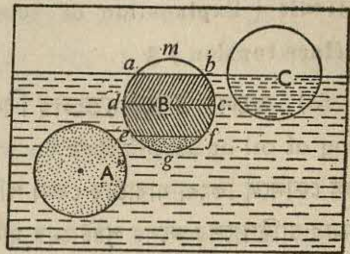
তরল পৃষ্ঠের উপর একটি টানযুক্ত স্থিতিস্থাপক পাতলা পর্দার অস্তিত্ব কল্পনা করিয়া তরলের এই প্রাকৃতিক ধর্মগুলির ব্যাখ্যা করা সম্ভব হইলেও একটি টানযুক্ত স্থিতিস্থাপক পর্দার সহিত তরলের পৃষ্ঠটানের পার্থক্য আছে। টানযুক্ত স্থিতিস্থাপক পর্দার (যেমন টানযুক্ত পাতলা রবারের পর্দার) তলের ক্ষেত্রফল হ্রাস-বৃদ্ধি হইলে ঐ পর্দার পৃষ্ঠতলের উপর টানেরও হ্রাস-বৃদ্ধি হয় কিন্তু তরলের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফলের হ্রাসবৃদ্ধি হইলেও উহার পৃষ্ঠটান স্থির থাকে যতক্ষণ না তরল অতি সূক্ষ্ম স্তরে পরিণত হয় যাহার বেধ (thickness) 10^{-7} সে.মি.-এরও কম।

13-2. পৃষ্ঠটানের আণবিক তত্ত্ব (Molecular theory of surface tension) ঃ যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে তরলের অণুগুলি পরস্পর পরস্পরকে একটি বল দ্বারা আকর্ষণ করিতেছে, যাহার পরিমাণ অণুগুলির দূরত্ব-বৃদ্ধির সহিত কমিয়া যায়, তাহা হইলে তরল পৃষ্ঠের সংকোচন ধর্মের একটি সন্তোষজনক ব্যাখ্যা দেওয়া যায়। দুইটি সমজাতীয় অণুর মধ্যের আকর্ষণ বলকে সংসক্তি (cohesion) বলে এবং দুইটি অসমজাতীয় অণুর মধ্যের আকর্ষণবলকে আসঞ্জন (adhesion) বলে।

লাপ্লাস্ ধরিয়া লইয়াছিলেন যে, দুইটি অণুর মধ্যের দূরত্ব যতক্ষণ না একটি নির্দিষ্ট সীমা (ধরা যাক c দূরত্ব) অতিক্রম করে ততক্ষণ পর্যন্ত উহাদের মধ্যের আকর্ষণবল উল্লেখযোগ্য থাকে। কিন্তু অণু দুইটির মধ্যের দূরত্ব যখন ঐ নির্দিষ্ট সীমা (অর্থাৎ c দূরত্ব) অতিক্রম করে তখন উহাদের মধ্যের আকর্ষণবল প্রায় শূন্য হয়। যদি অণুকে কেন্দ্র করিয়া এবং c দৈর্ঘ্যকে ব্যাসার্ধ লইয়া একটি গোলক অঙ্কিত করা যায় তাহা হইলে ঐ গোলককে অণুর 'আকর্ষণ-গোলক' (sphere of attraction) বলা হয়।

মনে কর A-চিহ্নিত অণুটি তাহার আকর্ষণ-গোলকসহ-তরলের মধ্যে সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত আছে [13.1 নং চিত্র]। এই গোলকের মধ্যে যে সমস্ত অন্যান্য অণু আছে তাহারা A-অণুকে সর্বদিক হইতে সমান পরিমাণ বল দ্বারা আকর্ষণ করিবে। ইহার ফলে এই অণুর উপর কোনরূপ লব্ধি সংসক্তি বল থাকিবে না, যদিও উহার স্বাভাবিক তাপীয়-গতি (thermal motion) অপরিবর্তিত থাকিবে।

যখন অণুটি তাহার স্বাভাবিক তাপীয়-গতির জন্য তরল পৃষ্ঠের কাছে B-চিহ্নিত স্থানে আসিবে তখন উহার আকর্ষণ-গোলকের *amb* অংশ তরলপৃষ্ঠের বাহিরে থাকিবে। এখন গোলকের *abcd* অংশের মধ্যস্থ অণুগুলি যদি B-অণুকে F পরিমাণ বল দ্বারা উপরের দিকে আকর্ষণ করে তাহা হইলে গোলকের *cdef* অংশের মধ্যস্থ অণুগুলি B-অণুকে ঐ একই পরিমাণ F বল দ্বারা নীচের দিকে আকর্ষণ করিবে। কাজেই এই দুই বল পরস্পর পরস্পরকে প্রশমিত করিবে। কিন্তু গোলকের *efg* অংশের মধ্যস্থ অণুগুলি B-অণুকে যে বল দ্বারা নীচের দিকে আকর্ষণ করিতেছিল তাহা থাকিয়াই যাইতেছে। এক্ষণে যদি B-অণুকে তরলপৃষ্ঠের দিকে অগ্রসর হইতে হয় তাহা হইলে উহাকে গোলকের *efg* অংশের অণুগুলির নিম্নাভিমুখী টানের বিরুদ্ধে কাজ করিতে হইবে। এই কাজ B-অণুতে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকিবে।



চিত্র 13.1 : পৃষ্ঠটানের আণবিক তত্ত্ব

অণুটি যখন তাহার স্বাভাবিক তাপীয়-গতির জন্য তরলপৃষ্ঠের C স্থানে পৌঁছিবে তখন ঐ অণুর আকর্ষণ-গোলকের অর্ধাংশ তরলের বাহিরে থাকিবে এবং অপর অর্ধাংশ তরলের মধ্যে থাকিবে [13.1 নং চিত্র]। আকর্ষণ-গোলকের বাহিরের অর্ধাংশের মধ্যে তরলের বাষ্পের যে সামান্য কয়েকটি অণু থাকিবে তাহারা C-অণুর উপর নগণ্য পরিমাণ ঊর্ধ্বমুখী আকর্ষণ বল প্রয়োগ করিবে। কিন্তু ঐ গোলকের নিম্ন অর্ধাংশের মধ্যে যে প্রচুর সংখ্যক তরলের অণু থাকিবে তাহারা C-অণুকে সর্বোচ্চ বলে নীচের দিকে আকর্ষণ করিবে। কাজেই অণু যখন তরলপৃষ্ঠে আসে তাহার মধ্যে স্থিতিশক্তি সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। অতএব তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল যত বেশী হয় উহাতে সঞ্চিত স্থিতিশক্তির পরিমাণও তত বৃদ্ধি পায়। তরলপৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফলের উপর যে পরিমাণ স্থিতিশক্তি সঞ্চিত থাকে তাহাকে তরলপৃষ্ঠের প্রকৃত স্থিতিশক্তি (intrinsic surface energy) বলে।

আমরা জানি যে কোন বস্তুর সাম্য অবস্থা (equilibrium condition) সুস্থির (stable) হয় যখন উহার স্থিতিশক্তি সর্বনিম্ন হয় [4-20 পরিচ্ছেদ দেখ]।

কাজেই তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল যখন সর্বনিম্নে আসিবে তখন উহার স্থিতিশক্তিও সর্বনিম্ন হইবে। সুতরাং তরলের সুস্থির সাম্য অবস্থার জন্য উহার পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হওয়ার প্রয়োজন। এই কারণেই তরলপৃষ্ঠ সর্বদা সংকুচিত হইতে চেষ্টা করে যাহা আমরা তরলপৃষ্ঠের স্পর্শকের দিকে একটি টানের (যাহাকে পৃষ্ঠটান বলে) অস্তিত্বের কল্পনা করিয়া ব্যাখ্যা করিয়া থাকি।

13-3. পৃষ্ঠটান-জনিত কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনার ব্যাখ্যা (Explanation of some natural phenomena based on surface tension) :

(*a*) **জলের উপরে তেলের কিংবা সাবানের ফেনার বিস্তৃতি** (Spreading of oil or soap-lather on water) : জলের কোনও স্থানে এক ফোঁটা তেল ফেলিলে কিংবা সাবানের ফেনা পড়িলে সেই স্থানের পৃষ্ঠটান কমিয়া যায় কিন্তু ঐ স্থানের চারিপাশের জলের পৃষ্ঠটানের মান পূর্বের মতই থাকে। চারিপাশের জলের পৃষ্টটানের আধিক্য হেতু ঐ টান তেলকে কিংবা সাবানের ফেনাকে টানিয়া বাহিরের দিকে লইয়া যাইবে। ইহার ফলে তেল কিংবা সাবানের ফেনা জলের কোনও স্থানে পড়িলে উহারা ঐ স্থানের চারিদিকে ছড়াইয়া পড়ে।

(*b*) **জলের ঢেউ-এর উপর তেল ঢালিলে উহা প্রশমিত হইয়া যায়** (Calming of waves by pouring oil on them) : ঝড়ের সময় যখন নদী কিংবা সমুদ্রের জলের উপর প্রচণ্ড ঢেউ-এর সৃষ্টি হয় তখন জলের উপর তেল ঢালিয়া দিলে সেই তেল ঝড়ের বেগে জলের এক অংশ হইতে অপর অংশের ঢেউ-এর উপরে চলিয়া যায়। তেল ঢেউ-এর উপরে থাকায় ওখানকার জলের পৃষ্ঠটান কমিয়া যায় কিন্তু উহার পশ্চাতের জল তৈলমুক্ত হওয়ায় ঐ জলের পৃষ্ঠটান বেশী থাকে। ঢেউ-এর পশ্চাতের জলের পৃষ্টটান বেশী হওয়ায় ঐ টান ঢেউ-এর উপরের জলকে টানিয়া নীচে নামাইয়া দিবে, অর্থাৎ ঢেউ প্রশমিত হইবে।

(*c*) **জলের উপর কর্পূর ছাড়িয়া দিলে উহা জলের উপর ছোটাছুটি করে** (Movement of camphor on water surface) : জলের উপর এক টুকরা কর্পূরকে (যাহা সাধারণতঃ অনিয়মিত আকারের হয়) ছাড়িয়া দিলে উহার কোনও একদিক, অন্য কোন দিক অপেক্ষা জলে বেশী দ্রবীভূত হয়। জলের যে অংশে কর্পূর বেশী দ্রবীভূত হয় সেই অংশের পৃষ্ঠটান বেশী কমিয়া যায় আর কর্পূর জলের যে অংশে কম দ্রবীভূত হয় সেই অংশের পৃষ্ঠটানের হ্রাস কম পরিমাণে হয়। কর্পূরের দুই পাশের জলের পৃষ্ঠটানের তারতম্যহেতু কর্পূরের টুকরাটি জলের সেই অংশে চলিয়া যাইবে যে অংশের পৃষ্টটান বেশী আছে। কর্পূরের এই দ্বিতীয় স্থানেও

উল্লিখিত ঘটনার পুনরাবৃত্তি হয়। এইভাবে কর্পূরের টুকরাটি জলের একস্থান হইতে অন্যস্থানে ছোটাছুটি করিতে থাকে, যতক্ষণ না কর্পূরটি সম্পূর্ণরূপে জলে দ্রবীভূত হয়।

(*d*) **কৈশিক নলে তরলের আরোহণ কিংবা অবরোহণ** (Ascension or descension of liquids in a capillary tube): যখন কাচের একটি কৈশিক নল কোন তরলের মধ্যে আংশিক ডুবানো হয় তখন নলের ভিতরের দেওয়ালের সংস্পৃষ্ট তরলের অণুগুলির উপর দুই প্রকার বল ক্রিয়া করে। নলের মধ্যস্থ তরলের অণুগুলি নলের দেওয়াল-সংলগ্ন তরলের অণুর উপর যে লব্ধিবল প্রয়োগ করে তাহাকে সংসক্তি-বল বলে। আবার কাচের অণুগুলি দেওয়াল-সংলগ্ন তরলের অণুগুলির উপর যে লব্ধিবল প্রয়োগ করে তাহাকে আসঞ্জন-বল বলে।

(i) যে সব তরল কাচের দেওয়ালের গায়ে লাগিয়া থাকে (যেমন জল, অ্যালকোহল, প্রভৃতি) তাহাদের ক্ষেত্রে সংসক্তি-বল অপেক্ষা আসঞ্জন-বলের পরিমাণ অনেক বেশী। এখানে নলের মধ্যস্থ তরলতলের আকার অবতল হয়। ইহার ফলে তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বেশী হইয়া যায়। এই ক্ষেত্রফল কমাইবার জন্য তরলের পৃষ্ঠটান তরলকে নলের মধ্যে উপরে উঠাইতে বাধ্য করে যতক্ষণ না উত্থিত তরলের উপর পৃষ্ঠটানের ক্রিয়া এবং অভিকর্ষবলের ক্রিয়া (যাহা তরলকে নীচে নামাইতে চেষ্টা করে) সমান হয়। এই কারণে একটি পরিষ্কার কাপড় উপর হইতে ঝুলাইয়া দিয়া উহার নিম্নাংশ জলের মধ্যে রাখিলে কাপড়ের পাশাপাশি দুইটি সূতার মধ্যস্থ সরু রাস্তা কৈশিক নলের ন্যায় ব্যবহার করিবে এবং ঐ সব রাস্তা দিয়া জল উপরে উঠিয়া উপরের কাপড়কে ভিজাইয়া দিবে।

(ii) আবার যে সব তরল কাচের দেওয়ালের গায়ে লাগে না (যেমন পারদ) তাহাদের ক্ষেত্রে আসঞ্জন-বল, সংসক্তি-বল অপেক্ষা অনেক কম। এখন নলের মধ্যস্থ তরলতলের আকার উত্তল হয়। ইহার ফলে তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল বেশী হইয়া যায়। এক্ষেত্রে পৃষ্ঠটান তরলপৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল কমাইবার জন্য তরলকে নলের নীচে নামাইয়া দিতে থাকিবে যতক্ষণ না ঐ পৃষ্ঠটানের ক্রিয়া এবং নলের বহিঃস্থ তরলের চাপের ক্রিয়া (যাহা তরলকে নলের মধ্যে উপরে উঠাইতে চেষ্টা করে) সমান হয়।

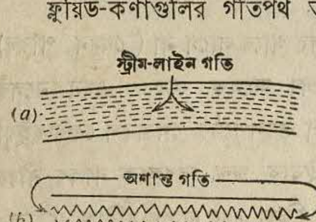
(*e*) **অল্প পরিমাণ তরল গোলকের আকার ধারণ করে** (Small quantity of liquid takes the shape of a sphere): পূর্বেই বলা হইয়াছে যে শিশির বিন্দু, বৃষ্টির জলের ফোঁটা, পারদ (যাহাতে খুব অল্প পরিমাণ তরল থাকে) প্রভৃতির উপর যখন অভিকর্ষ বলের ক্রিয়া খুব কম হয় তখন উহারা গোলকের আকার ধারণ করে। ঐ স্বল্প পরিমাণ তরলের উপর অভিকর্ষ বল নগণ্য হওয়ায় উহাদের পৃষ্ঠটানের ক্রিয়া উল্লেখযোগ্য পরিমাণ বাড়িয়া যায়। কিন্তু পৃষ্ঠটানের ক্রিয়ায়, তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন হইতে চেষ্টা করে। কোন নির্দিষ্ট আয়তনের তরলের পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল

সর্বনিম্ন হয় যখন উহার আকার গোল হয়। এই কারণেই অল্প পরিমাণ জল (যাহা শিশির বিন্দুতে এবং বৃষ্টির জলের ফোঁটায় থাকে) এবং পারদ গোলকের আকার ধারণ করে।

আবার পদ্মপত্রে কিংবা কচুর পাতায় জল রাখিলে পাতার সংস্পৃষ্ট জলের অণুগুলির মধ্যে সংসক্তি-বল অত্যন্ত বেশী (কারণ ঐ জল পাতার গায়ে লাগিয়া থাকে না)। এই কারণে পৃষ্ঠটানের ক্রিয়ায় ঐ জলের উপরতল উত্তল হয় এবং জলের পরিমাণ অল্প হইলে (যেখানে অভিকর্ষবলের ক্রিয়া খুব কম) ঐ জল গোলকের আকার ধারণ করিবে।

13-4. প্রবাহিত ফ্লুয়িড কণাগুলির বিভিন্নপ্রকার গতি (Different types of motion of flowing fluid particles) ঃ আমরা জানি যে ফ্লুয়িড (তরল এবং গ্যাসকে ফ্লুয়িড বলে) সর্বদা উচ্চচাপের দিক হইতে নিম্নচাপের দিকে প্রবাহিত হয়। ফ্লুয়িডের দুই প্রান্তের চাপ-পার্থক্য যতক্ষণ কম থাকে ততক্ষণ উহার কণাগুলির গতিপথ প্রবাহরেখার (stream-line) সহিত মিলিয়া থাকে। ফ্লুয়িডকণাগুলির এই প্রকার গতিকে **স্ট্রীম-লাইন গতি** (stream-line motion) বলে এবং কণাগুলি যে পথে চলে তাহাকে স্ট্রীম-লাইন (stream-line) অথবা প্রবাহরেখা বলে। প্রবাহরেখার যে-কোন বিন্দুতে ফ্লুয়িড-কণার বেগ ঐ রেখার স্পর্শকের দিকে থাকে। স্ট্রীম-লাইন সরলরেখা কিংবা বক্ররেখা হইতে পারে [13.2(a) চিত্র]।

ফ্লুয়িড-কণাগুলির গতিপথ ততক্ষণই প্রবাহরেখা বরাবর থাকে যতক্ষণ পর্যন্ত ফ্লুয়িডের প্রান্তদ্বয়ের চাপ-পার্থক্য একটি উচ্চ-সীমার মধ্যে থাকে। এই চাপ-পার্থক্য যখন নির্দিষ্ট উচ্চসীমায় আসে তখন ফ্লুয়িডকণাগুলি যে বেগে প্রবাহরেখা বরাবর চলে তাহাকে সংকট-বেগ (critical velocity) বলে। ফ্লুয়িডের প্রান্তদ্বয়ের মধ্যের চাপ-পার্থক্য যখন উচ্চসীমা অতিক্রম করিয়া যায় তখন ফ্লুয়িডকণাগুলির গতিপথ আর প্রবাহরেখার সহিত মিলিয়া থাকে না। তখন কণাগুলি এলোমেলোভাবে চলিতে থাকে। কণাগুলির এই প্রকার গতিকে **অশান্ত বা অস্থির গতি** (turbulent motion) বলে [13.2(b)নং চিত্র]।



চিত্র 13.2 ঃ স্ট্রীম-লাইন এবং অশান্ত গতি

13-5. কৈশিক নলে তরলের গতি (Motion of a liquid in a Capillary tube) ঃ কৈশিক নলে যখন কোন তরল প্রবাহিত হয় এবং উহার কণাগুলির গতিপথ প্রবাহরেখার সহিত মিলিয়া থাকে তখন তরলের সকল স্তরের বেগ

সমান হয় না। যে তরলস্তর কৈশিক নলের ভিতরের দেওয়ালের সংস্পর্শে থাকে সেই স্তরের কণাগুলির বেগ শূন্য হয়। কিন্তু ঐ দেওয়াল হইতে যতই নলের অক্ষের দিকে যাওয়া যায়, তরলের স্তরগুলির বেগ ততই বাড়িতে থাকে এবং নলের অক্ষরেখা বরাবর যে তরলকণাগুলি চলে তাহাদের বেগ সর্বোচ্চ হয়। তরলের বিভিন্ন স্তরের কণাগুলির গতি বিভিন্ন হইলেও উহাদের সকলেরই গতি স্ট্রীমলাইনে হয়। অতএব দেখা যাইতেছে যে তরল যখন কৈশিক নলে প্রবাহিত হয় তখন তরলের দুইটি সন্নিহিত স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগের সৃষ্টি হয়। যে স্তর নলের দেওয়ালের দিকে থাকে তাহার বেগ কম হয় এবং যে স্তর নলের অক্ষের দিকে থাকে তাহার বেগ বেশী হয়। প্রকৃত ফ্লুয়িডের (real fluid) ধর্ম এরূপ, যে যখন উহার সন্নিহিত স্তর দুইটির মধ্যে আপেক্ষিক বেগের সৃষ্টি হয় তখন ঐ দুই স্তরের মিলনতলে এমন একটি বলের উদ্ভব হয় যাহা স্তর দুইটির মধ্যের আপেক্ষিক বেগ নষ্ট করিতে চেষ্টা করে। ফ্লুয়িডের এই ধর্মকে **সান্দ্রতা** (viscosity) বলে। যদি এমন কোন ফ্লুয়িড পাওয়া যায় যাহার সন্নিহিত দুই স্তরের মধ্যে আপেক্ষিক বেগ থাকিলেও উহাদের মিলনতলে কোনরূপ বাধাসৃষ্টিকারী বলের উদ্ভব হয় না, তাহা হইলে সেই ফ্লুয়িডকে আদর্শ ফ্লুয়িড (perfect fluid) বলে। প্রকৃতপক্ষে এরূপ কোন ফ্লুয়িড পাওয়া যায় না।

13-6. সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক (Co-efficient of viscosity) ঃ যখন প্রবাহিত ফ্লুয়িডের গতিপথ প্রবাহরেখার সহিত মিলিয়া থাকে এবং একক দূরত্বে অবস্থিত দুইটি গতিশীল ফ্লুয়িডস্তরের যে-কোনটি যদি অপরটির তুলনায় একক বেগে চলিতে থাকে তখন যে-কোন স্তরের একক ক্ষেত্রফলের স্পর্শকের দিকে অপর স্তর যে বল সৃষ্টি করিয়া দুই স্তরের আপেক্ষিক বেগ নষ্ট করিতে চেষ্টা করে তাহাকে ফ্লুয়িডের **সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক** (co-efficient of viscosity) বলে। ঘর্ষণের সহিত সান্দ্রতার মিল থাকায় সান্দ্রতাকে ফ্লুয়িডের **আভ্যন্তরীণ ঘর্ষণও** (internal friction) বলে।

যখন l দৈর্ঘ্যের এবং r ব্যাসার্ধের কৈশিক নলের মধ্যে কোন তরল স্ট্রীম লাইনে প্রবাহিত হয় তখন দেখান যায় যে এক সেকেণ্ডে যে পরিমাণ তরল নল হইতে নির্গত হইবে তাহার আয়তন হইবে $v = \dfrac{\pi p r^4}{8\eta l}$ ... (13-6a)

এখানে, η = তরলের সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক এবং যে চাপ-পার্থক্যে তরল কৈশিক নলে প্রবাহিত হইতেছে তাহার মান হইতেছে p।

(13-6a) সমীকরণ হইতে বোঝা যায় যে তরলের সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক (η) বেশী সেই তরল কৈশিক নলে ধীরে প্রবাহিত হইবে এবং এক সেকেণ্ডে নির্গত তরলের আয়তন (v) কম হইবে। জলপাই তেল, রেড়ির তেল, গ্লিসারিণ, প্রভৃতির সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক বেশী। কাজেই এই সব তরল কৈশিক নলে অল্পবেগে প্রবাহিত হইবে। জলের

ক্ষেত্রে প্রবাহের বেগ বাড়িতে থাকিবে যত উহার উষ্ণতা বেশী হইবে। অতএব ঠাণ্ডা জলের সান্দ্রতা বেশী এবং গরমজলের সান্দ্রতা কম। প্রায় সব তরলেরই উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার সান্দ্রতা কমিয়া যায়। গ্যাসের ক্ষেত্রে সান্দ্রতা অনেক কম। আবার শুষ্ক বাতাস অপেক্ষা জলীয় বাষ্পপূর্ণ বাতাসের সান্দ্রতা কম।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 13]

1. তরলের পৃষ্ঠটান বলিতে কি বুঝ? কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ করিয়া উহার ব্যাখ্যা কর। পৃষ্ঠটানের সংজ্ঞা এবং একক লিখ। [Art. 13-1]

2. আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে পৃষ্ঠটানের ব্যাখ্যা কর। অল্পপরিমাণ তরল গোলকের আকার ধারণ করে কেন? [Art. 13-2]

3. নিম্নলিখিত ঘটনাগুলির যথাযথ ব্যাখ্যা কর :—(*a*) কোন স্প্রেয়ার হইতে যখন তরল স্প্রে করা হয় তখন ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র তরলকণাগুলি গোলাকার হয়। (*b*) পদ্মপত্রে অল্পপরিমাণ জল লইলে গোলাকার হয় কিন্তু জলের পরিমাণ বেশী হইলে উহা চেপ্টা হইয়া যায়। (*c*) মাটি হইতে গাছগুলি কিভাবে জল শোষণ করে? [Art. 13-3]

4. কোন ফ্লুয়িড যখন প্রবাহিত হইতে থাকে তখন উহার কণাগুলির কি প্রকার গতি হয়? ঐ গতি কখন প্রবাহরেখা বরাবর চলে এবং কখন অশান্ত হয়? [Art. 13-4]

5. কৈশিক নলে যখন কোন তরল ষ্ট্রীম লাইনে প্রবাহিত হয় তখন উহার বিভিন্ন স্তরের গতির বর্ণনা কর। এই অবস্থায় নল হইতে এক সেকেণ্ডে নির্গত তরলের আয়তন কিসের উপর নির্ভর করিবে? [Art. 13-5]

6. সান্দ্রতা গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। সব তরলেরই কি সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক এক হইবে? তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার সান্দ্রতা-গুণাঙ্ক—বাড়ে না কমে? সান্দ্রতা তরলের বেশী না গ্যাসের বেশী?

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Objective type Questions] (অধ্যায় 13)

A. Multiple Choice type : (1) জলের উপর তেল ফেলিলে কি হইবে?—তেল একটি গোলকের আকার ধারণ করিবে, তেলের কোনরূপ পরিবর্তন হইবে না, তেল জলের উপর ছড়াইয়া পড়িবে। (2) কৈশিক নলে তরল প্রবাহের প্রকৃতি কিরূপ?—ইহার সমস্ত স্তরই একই গতিতে প্রবাহিত হয়, ইহার বিভিন্ন স্তর বিভিন্ন গতিতে প্রবাহিত হয় যাহাতে নলের দেওয়ালের গায়ের স্তরের বেগ শূন্য হয় এবং নলের অক্ষের দিকে তরলের বেগ সর্বাপেক্ষা বেশী হয়।

B. Completion type : (1) তরলের উপরিস্থিত—দৈর্ঘ্যের সরলরেখার সমকোণে এবং তরলের —দিকে যে বল প্রযুক্ত থাকে তাহাকে—বলে। (2) তরল পৃষ্ঠের ক্ষেত্রফল যত বেশী হয় ঐ তলের উপর—পরিমাণ তত বেশী হয়।

C. True or False type : (1) তরলের পরিমাণ যাহাই হউক না কেন উহা সর্বদা গোলকের আকার ধারণ করে। (2) কৈশিক নলে বিভিন্ন প্রকৃতির তরল প্রবাহিত হইবার সময় উহারা বিভিন্ন হারে প্রবাহিত হয়। (3) জল অপেক্ষা তেলের সান্দ্রতা কম।

তাপবিজ্ঞান (Heat)

অধ্যায় 1

তাপ ও উষ্ণতার মূল বিষয়গুলির সংক্ষিপ্ত পুনরুল্লেখ

[Recapitulation of the basic concept of heat and temperature]

1-1. তাপ ও উষ্ণতার পার্থক্য (Distinction between heat and temperature) : (i) তাপ, শক্তির বিভিন্ন রূপের একটি রূপ মাত্র। বস্তুর অণুগুলির গতি থাকায় উহাদের গতিশক্তি থাকিবে এবং অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ থাকায় উহাদের স্থিতিশক্তিও থাকিবে। কোন বস্তুর মধ্যস্থ তাপশক্তির পরিমাণগত মান উহার অণুগুলির মোটশক্তির (গতিশক্তি+স্থিতিশক্তি) সমানুপাতিক হইবে, কিন্তু বস্তুটির উষ্ণতা বা তাপমাত্রা (temperature) কেবলমাত্র উহার একটি অণুর গড় গতিশক্তির [অর্থাৎ, (অণুগুলির মোট গতিশক্তি)/(অণুগুলির মোট সংখ্যা)] সমানুপাতিক।

(ii) কোন বস্তুর তাপ গ্রহণের কিংবা বর্জনের পরিমাণ বস্তুর ভরের (m) উপর, উহার আপেক্ষিক তাপের (s) উপর এবং উষ্ণতা-পরিবর্তনের (θ) উপর নির্ভর করিবে। অতএব, বস্তুর দ্বারা গৃহীত বা বর্জিত তাপ$=ms\theta$।

(iii) যখন দুইটি বস্তুকে স্পর্শ করানো হয় তখন তাপ কেবলমাত্র উচ্চ উষ্ণ বস্তু হইতে নিম্ন উষ্ণ বস্তুতে প্রবাহিত হয়। এই তাপ-সঞ্চালন কেবলমাত্র বস্তু দুইটির উষ্ণতার পার্থক্যের উপর নির্ভর করে কিন্তু উহাদের মধ্যস্থ তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না।

(iv) কোন একটি বস্তুতে তাপ প্রয়োগ করিলে কিংবা ঐ বস্তু হইতে তাপ নিষ্কাশন করিলে বস্তুর উষ্ণতা যথাক্রমে বৃদ্ধি পায় কিংবা হ্রাস হয়। কাজেই তাপের হ্রাস-বৃদ্ধির কারণেই বস্তুর উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি হইয়া থাকে, যাহা তাপের ফল।

(v) উষ্ণতা এবং তাপ উভয়েই পরিমাপ-যোগ্য রাশি। উষ্ণতা সোজাসুজি থার্মোমিটারের সাহায্যে মাপা হয় কিন্তু তাপ মাপিবার জন্য যদিও থার্মোমিটারের প্রয়োজন হয় তথাপি সোজাসুজি ইহার দ্বারা তাপ মাপা যায় না।

1-2. থার্মোমিটার প্রস্তুতপ্রণালীর সংক্ষিপ্ত পর্যালোচনা (Brief review of the construction of a thermometer) : পরীক্ষাগারে যে সব থার্মোমিটার দেখা যায় তাহাতে পারদকেই প্রধাণতঃ তরল হিসাবে লওয়া হয়। কোন

কোন থার্মোমিটারের মধ্যে রঙিন অ্যালকোহল থাকে। এই সব তরলের প্রসারণ কিংবা সংকোচন লক্ষ্য করিয়া বিভিন্ন উষ্ণতা মাপা হয়।

(i) **পারদ থার্মোমিটারে** সাধারণতঃ একটি চোঙাকৃতি কুণ্ডের সহিত সমব্যাসের একটি কৈশিক নল যুক্ত করা থাকে। সম্পূর্ণ কুণ্ডটি এবং নলের কিছু অংশ বিশুদ্ধ ও শুষ্ক পারদ দ্বারা ভর্তি থাকে এবং পারদতলের উপরে নলের যে অংশ আছে সেখানে কেবল পারদ-বাষ্প থাকে [1·4 নং চিত্র দেখ]। অনেক উচ্চ উষ্ণতাতেও ($-39°C$ হইতে $357°C$ পর্যন্ত) পারদ তরল থাকে, এজন্য পারদ থার্মোমিটারের সাহায্যে উচ্চ উষ্ণতা ($-30°C$ হইতে $350°C$ পর্যন্ত) মাপা হয়।

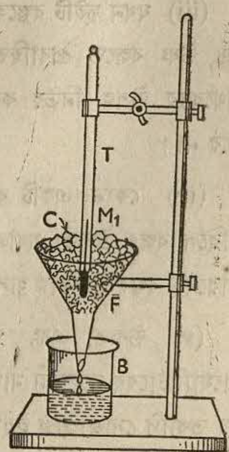


চিত্র 1.1 : অ্যালকোহল থার্মোমিটার

(ii) **অ্যালকোহল থার্মোমিটারে** গোল কিংবা চোঙাকৃতি একটি কুণ্ড (B) থাকে যাহার সহিত একটি সরু নল (AC) যুক্ত থাকে। ইহার সম্পূর্ণ কুণ্ডটি এবং নলের কিছু অংশ (L) শুষ্ক, বিশুদ্ধ ও রঙিন অ্যালকোহল দ্বারা ভর্তি থাকে। নলের অবশিষ্ট অংশে অ্যালকোহলের বাষ্প থাকে [1·1 নং চিত্র] খুব নিম্ন উষ্ণতা পর্যন্ত ($-114{\cdot}9$ C হইতে $78°C$ পর্যন্ত) অ্যালকোহল তরল থাকে, এজন্য অ্যালকোহল থার্মোমিটার সাধারণতঃ খুব নিম্ন উষ্ণতা ($-110°C$ হইতে $60°C$ পর্যন্ত) মাপিবার জন্য ব্যবহৃত হয়।

পারদ থার্মোমিটারের প্রচলন খুব বেশী এজন্য উহার অংশাঙ্কনের সংক্ষিপ্ত বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

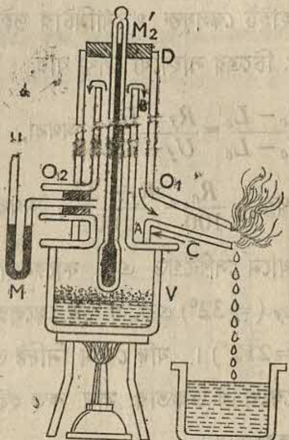
নিম্ন-স্থিরাঙ্ক নির্ণয় :—পারদ এবং পারদ-বাষ্প ভর্তি থার্মোমিটারকে (T) একটি ফানেলের (F) মধ্যস্থ জলমিশ্রিত বরফকুচির (C) মধ্যে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখার পর যখন বরফের বাহিরে পারদতল অনেকক্ষণ স্থির থাকিল তখন ঐ পারদতল বরাবর নলের গায়ে একটি দাগ (M_1) কাটা হইল যাহা নিম্নস্থিরাঙ্ক (lower fixed point কিংবা ice-point) হইবে [1·2 নং চিত্র]।



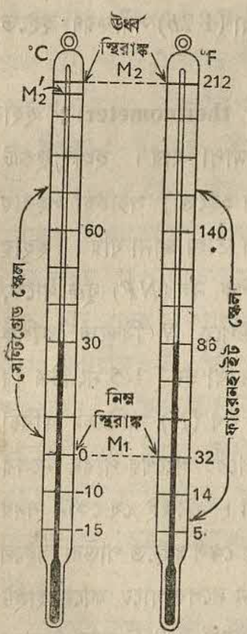
চিত্র 1.2 : নিম্ন-স্থিরাঙ্ক নির্ণয়

উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক নির্ণয় :—একটি পাত্রের (V) ফুটন্ত জলের স্টীমের মধ্যে থার্মোমিটারকে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে উহার পারদতল পাত্রের বাহিরে থাকে এবং উহার কুণ্ডটি ফুটন্ত জলের

উপরে থাকে [1·3 নং চিত্র]। যখন পাত্রের বাহিরে পারদতল অনেকক্ষণ স্থির থাকিল তখন ঐ পারদতল বরাবর পাত্রের গায়ে যে দাগ (M_2') কাটা হইল তাহাই অসংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক হইবে। বায়ুমণ্ডলের চাপ স্বাভাবিক (76 সে.মি. পারদ-স্তম্ভের চাপকে বায়ুর স্বাভাবিক চাপ ধরা হয়) থাকে না বলিয়া জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C হয় না। এজন্য পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে (M'_2) সংশোধিত করিয়া* নলের গায়ে আর একটি দাগ (M_2) কাটিতে হইবে, যাহা সংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক হইবে।



চিত্র 1.3 : ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক নির্ণয়



চিত্র 1.4(a) : চিত্র 1.4(b) :
(থার্মোমিটার)

থার্মোমিটারের নলে স্কেল অঙ্কন—থার্মোমিটারের নলে সাধারণতঃ দুই প্রকার স্কেল অঙ্কিত থাকে। একটির নাম **সেণ্টিগ্রেড স্কেল** (যাহা বহুল প্রচলিত) যাহার নিম্নস্থিরাঙ্ককে (M_1) 0°C ধরা হয় এবং সংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে (M_2) 100°C ধরা হয়। এই দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যস্থ দৈর্ঘ্যকে (M_1M_2) সমান 100 ভাগে ভাগ করা হয় যাহার প্রত্যেক ভাগকে 1°C বলা হয় [1.4 (a) চিত্র দেখ]।

থার্মোমিটারের নলের গায়ে যে অপর একটি স্কেল অঙ্কিত থাকে তাহার নাম **ফারেনহাইট** (Fahrenheit) **স্কেল**। এই স্কেলে নিম্নস্থিরাঙ্ককে (M_1) 32°F এবং সংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ককে (M_2) 212°F ধরা হয়। এই দুই স্থিরাঙ্কের মধ্যস্থ দৈর্ঘ্যকে (M_1M_2) সমান 180 ভাগে ভাগ করা হয় যাহার প্রত্যেক ভাগকে 1°F বলে [1.4 (b) নং চিত্র দেখ]।

---

* দেখা গিয়াছে যে স্বাভাবিক বায়ুচাপ 760 মি. মি. হইতে বায়ুচাপের 1 মি. মি. পরিবর্তনে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C হইতে 0·037°C দ্বারা পরিবর্তিত হয়। পরীক্ষাকালে যদি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা B মি. মি. হয় ($B<760$) তাহা হইলে ঐ সময়ে জলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে $\theta=[100-(760-B)\times\cdot037]$°C। অতএব নিম্নস্থিরাঙ্ক M_1 ও অসংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের মধ্যে দূরত্ব l' সে. মি. হইলে M_1 ও সংশোধিত ঊর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের (M_2) মধ্যের দূরত্ব হইবে $l=[l'\times(100/\theta)]$ সে. মি.। কাজেই M_1 হইতে M_2-এর দূরত্ব l সে. মি. হইবে।

দুই স্কেলের পারস্পরিক সম্বন্ধ :—একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, সেন্টিগ্রেড ও ফারেনহাইট স্কেলযুক্ত থার্মোমিটার দুইটির পাঠ যদি যথাক্রমে R_c ও R_f হয় তাহা হইলে 1·4 নং চিত্রের সাহায্যে লেখা যায়,

$$\frac{R_c-L_c}{U_c-L_c}=\frac{R_f-L_f}{U_f-L_f}\text{ ; অথবা, }\frac{R_c-0}{100-0}=\frac{R_f-32}{212-32}\quad\cdots\quad(1\text{-}2\ a)$$

$$\text{অথবা, }\frac{R_c}{100}=\frac{R_f-32}{180}\text{ ; অথবা, }\frac{R_c}{5}=\frac{R_f-32}{9}\quad\cdots\quad(1\text{-}2\ b)$$

এখানে সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট স্কেলের নিম্নস্থিরাঙ্কের পাঠ যথাক্রমে $L_c(=0^\circ)$ এবং L_f $(=32^\circ)$ এবং ঐ দুই স্কেলের উর্ধ্বস্থিরাঙ্কের পাঠ যথাক্রমে U_c $(=100^\circ)$ এবং U_f $(=212^\circ)$। যদি কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার মান এক স্কেলে জানা থাকে তাহা হইলে অপর স্কেলে ঐ উষ্ণতার মান কত হইবে তাহা (1-2a) কিংবা (1-2b) সমীকরণ হইতে নির্ণয় করা যায়।

1-3. ডাক্তারী থার্মোমিটার (Clinical thermometer) :

ইহা একটি গরিষ্ঠ পারদ থার্মোমিটার যাহা দ্বারা শরীরের উষ্ণতা মাপা যায়। ইহার কুণ্ডটি মানুষের শরীর হইতে (মুখ কিংবা বগল হইতে) সরাইয়া লইবার অনেক পরেও শরীরের উষ্ণতা কত ছিল তাহা জানা যায়। ইহার চোঙাকৃতি কুণ্ডের (B) সহিত যে কৈশিক নল (NF) যুক্ত থাকে, সেই নলের নীচে এবং কুণ্ডের একটু উপরে N বিন্দুতে কৈশিক নলকে অপেক্ষাকৃত সরু ও বাঁকা করিয়া রাখা হয় [1.5 নং চিত্র]। ইহার ফলে, পারদ নলের বাঁকা ও সরু পথ (N) অতিক্রম করিয়া নলের মধ্যে প্রবেশ করিলে N বিন্দুর উপরের অংশের পারদ নিজের থেকে আর নীচে নামিতে পারে না। কাজেই যে কোন সময় পারদের উপরতলের পাঠ নলের গায়ের স্কেল হইতে পড়িয়া লইলে শরীরের উষ্ণতা পাওয়া যাইবে। এখানে নলের গায়ে ফারেনহাইট স্কেল থাকে এই স্কেলের পরিসর 95°F হইতে 110°F পর্যন্ত (কারণ মানুষের শরীরের উষ্ণতা ইহার মধ্যেই থাকে)। ইহার প্রত্যেক ডিগ্রীকে সমান পাঁচ ভাগে ভাগ করা থাকে, এজন্য আমরা 0·2°F পর্যন্ত পড়িতে পারি। নলের মধ্যে প্রসারিত পারদকে পুনরায় নীচে নামাইয়া কুণ্ডের মধ্যে প্রবেশ করাইতে হইলে, কুণ্ডকে নীচের দিকে রাখিয়া থার্মোমিটারকে জোরে ঝাড়িতে হইবে।



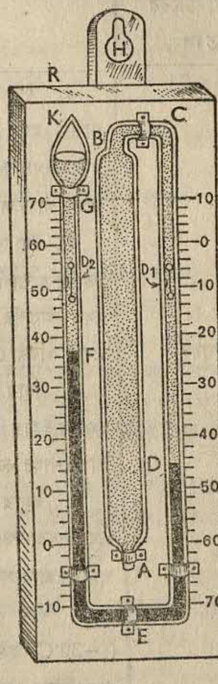
চিত্র 1.5 : ডাক্তারী থার্মোমিটার

1-4. সিক্সের গরিষ্ঠ এবং লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার (Six's maximum and minimum thermometer) :

এই থার্মোমিটার আবহাওয়া

অফিসে ব্যবহৃত হয়। দিনের 24 ঘণ্টার মধ্যে বাতাসের সর্বোচ্চ ও সর্বনিম্ন উষ্ণতা, এই থার্মোমিটার দ্বারা স্বয়ংক্রিয়ভাবে লিপিবদ্ধ হয়।

ইহাতে বিশুদ্ধ অ্যালকোহল-ভর্তি একটি মোটা লম্বা চোঙ (AB) থাকে যাহা থার্মোমিটারের কুণ্ডের কাজ করে। এই চোঙের সহিত যে U-আকৃতির সরু নল যুক্ত থাকে তাহার নিম্নাংশে (DEF) বিশুদ্ধ পারদ থাকে এবং উপরের দুই বাহুতে (BCD ও FG) অ্যালকোহল থাকে। এই U-নলের প্রান্তটি (GK) কুণ্ডাকৃতি করিয়া রাখা হইয়াছে যাহার নিম্নাংশে অ্যালকোহল এবং উপরাংশে অ্যালকোহলের বাষ্প থাকে [1.6 নং চিত্র]। U-নলের দুই বাহুর পারদের উপরে স্প্রিংযুক্ত দুইটি লোহার সূচক (D_1 ও D_2) আছে যাহাদের অবস্থান কোন চুম্বকের সাহায্যে পরিবর্তন করা যায়।



চিত্র 1-6 : গরিষ্ঠ ও লঘিষ্ঠ থার্মোমিটার

ক্রিয়া :—দিনের তাপমাত্রা যখন ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইয়া সর্বোচ্চ মাত্রায় আসে তখন AB চোঙের অ্যালকোহল ক্রমশঃ প্রসারিত হইয়া CD বাহুর D-পারদতলকে নীচে নামাইয়া দিবে এবং FG বাহুর F-পারদতলকে এবং সেইসঙ্গে উহার উপরিস্থিত D_2 সূচককেও সর্বোচ্চ অবস্থানে আনিবে। যেহেতু EFG বাহুতে, নীচের দিক হইতে উপরের দিকে ক্রমোচ্চ সেন্টিগ্রেড (কিংবা ফারেনহাইট) ডিগ্রীতে অংশাঙ্কিত করা থাকে সেইহেতু D_2 সূচকের নিম্নপ্রান্ত বরাবর স্কেলের পাঠ দিনের সর্বোচ্চ তাপমাত্রা দেখাইবে। এখন D_1 সূচকের অবস্থান পরিবর্তিত হয় না।

দিনের উষ্ণতা যখন ক্রমশঃ কমিয়া সর্বনিম্নে আসে তখন AB চোঙের অ্যালকোহল ক্রমশঃ সংকুচিত হইবে, যাহার ফলে CD বাহুর D-পারদতল এবং সেইসঙ্গে D_1 সূচক সর্বোচ্চ অবস্থানে আসিবে। কিন্তু EDC বাহুকে নীচের দিক হইতে উপরের দিকে ক্রমনিম্ন সেন্টিগ্রেড (কিংবা ফারেনহাইট) ডিগ্রীতে অংশাঙ্কিত করা থাকে বলিয়া D_1 সূচকের নিম্নপ্রান্ত বরাবর স্কেলের পাঠ দিনের সর্বনিম্ন তাপমাত্রা দেখাইবে। এই সময় D_2 সূচকের অবস্থান অপরিবর্তিত থাকে।

এইভাবে দিনের 24 ঘণ্টার মধ্যে বাতাসের সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন তাপমাত্রা স্থির করা হয়।

1-5. থার্মোমিটারের তরল হিসাবে পারদ এবং অ্যালকোহলের তুলনামূলক সুবিধা এবং অসুবিধা (Comparative advantages and disadvantages of mercury and alcohol as thermometric substances) :

থার্মোমিটারের তরল	সুবিধা	অসুবিধা
পারদ	1. ইহাকে সহজেই বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় এবং অস্বচ্ছ ও চক্‌চকে বলিয়া দেখার সুবিধা হয়। ইহা কাচের নলের গায়ে লাগে না। 2. ইহা তাপের সুপরিবাহী হওয়ায় ইহা দ্রুত তাপ সঞ্চালন করিয়া পারদের সমস্ত অংশের উষ্ণতা খুব অল্প সময়ে সমান করিয়া ফেলে। 3. ইহার আপেক্ষিক তাপ খুব কম হওয়ায় ইহার উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য খুব কম তাপ শোষণ করে। 4. ইহার প্রসারণ ক্ষমতা বেশী এবং উষ্ণতা-স্কেলের বিভিন্ন অংশে ইহার প্রসারণ প্রায় সমান। 5. দীর্ঘ উষ্ণতা পরিসরের মধ্যে (−30°C হইতে 350°C) পারদ থার্মোমিটার ব্যবহার করা যায়।	1. কোন বস্তুর উষ্ণতা যদি −39°C-এর নীচে যায় কিংবা 357°C-এর উপরে যায় তাহা হইলে ঐসব উষ্ণতা পারদ-থার্মোমিটার দ্বারা মাপা যায় না। 2. পারদের আপেক্ষিক গুরুত্ব (13·6) খুব বেশী এজন্য উহাকে উল্লম্ব অবস্থায় রাখিলে কুণ্ডের উপর চাপ খুব বেশী হইবে। ইহার ফলে কুণ্ডের আকার বড় হইবে এবং 0°C উষ্ণতায় উহার তল স্কেলের শূন্য দাগের নীচে চলিয়া যাইবে।
অ্যালকোহল	1. অ্যালকোহল খুব নিম্ন-উষ্ণতাতেও (−114·9°C হইতে 78°C পর্যন্ত) তরল থাকে এজন্য নিম্ন-উষ্ণতা মাপিবার জন্য অ্যালকোহল থার্মোমিটার ব্যবহৃত হয়। 2. নির্দিষ্ট উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে অ্যালকোহলের প্রসারণ খুব বেশী, এজন্য 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে অ্যালকোহল নলের অনেকখানি দৈর্ঘ্য পর্যন্ত সরিয়া যায়। 3. অ্যালকোহল খুব হাল্কা ও তরল হওয়ায় থার্মোমিটারকে উল্লম্ব রাখিলেও উহার কুণ্ডের উপর চাপ পড়ে না।	1. এই থার্মোমিটার দ্বারা উচ্চ উষ্ণতা মাপা যায় না। 2. ইহা তাপের কুপরিবাহী হওয়ায় ইহার মধ্যে তাপ দ্রুত সঞ্চালিত হয় না। 3. উষ্ণতা-স্কেলের বিভিন্ন স্থান হইতে ইহার 1°C উষ্ণতা বাড়াইলে অ্যালকোহলের প্রসারণ সমান হয় না, এজন্য স্কেলের বিভিন্ন অংশের ডিগ্রীর সাইজ সমান হয় না। 4. অ্যালকোহল কাচের গায়ে লাগিয়া থাকে, এজন্য যখন উষ্ণতা কমিয়া যায় তখন সমস্ত অ্যালকোহল নীচে নামিয়া আসে না। কিছু অ্যালকোহল নলের উপরাংশের গায়ে লাগিয়া থাকে।

বিষয়-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions]

1. তাপ ও উষ্ণতার মধ্যে কি কি পার্থক্য আছে? তাপের কোন্ ধর্মের উপর ভিত্তি করিয়া থার্মোমিটার প্রস্তুত করা হয়?

2. পারদ থার্মোমিটারের এবং অ্যালকোহল থার্মোমিটারের গঠনের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও।

3. পারদ থার্মোমিটারের স্থিরাঙ্ক দুইটি কিভাবে নির্ণয় করা হয় এবং কেন করা হয়? উষ্ণতা মাপিবার জন্য কয়প্রকার স্কেলের প্রচলন আছে এবং কোন্ স্কেল সুবিধাজনক? থার্মোমিটারের উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক নির্ণয় করার সময় ব্যারোমিটার দেখা হয় কেন?

4. উষ্ণতা মাপিবার জন্য যে দুইটি স্কেল ব্যবহৃত হয় তাহাদের মধ্যের সম্বন্ধ নির্ণয় কর। শরীরের উষ্ণতা জানিবার জন্য কিরূপ থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়? থার্মোমিটারকে শরীরের বাহিরে আনিলেও কিভাবে উহার (শরীরের) উষ্ণতা অনেক পরে জানিয়া লওয়া যায়?

5. বাতাসের সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন উষ্ণতা মাপিবার জন্য কিরূপ থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়? ইহার গঠনপ্রণালীর সহিত ডাক্তারী থার্মোমিটারের গঠনের কোন পার্থক্য আছে কি?

6. থার্মোমিটার গঠন করিবার জন্য সাধারণতঃ পারদ কিংবা অ্যালকোহল ব্যবহার করা হয়। উহাদের দ্বারা কি কি সুবিধা পাওয়া যায় এবং কি কি অসুবিধা আসে?

বাস্তব-ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Objective type Questions]

A. Multiple choice type : (1) জলের স্ফুটনাঙ্ক মাপিবার জন্য কোন থার্মোমিটার ব্যবহার করা হয়?—ডাক্তারী থার্মোমিটার, পারদ থার্মোমিটার, অ্যালকোহল থার্মোমিটার। (2) পারদ থার্মোমিটারের নিম্নস্থিরাঙ্ক নির্ণয় করিতে কিরূপ বরফ লইবে?—জলমিশ্রিত বিশুদ্ধ বরফ, লবণ মিশ্রিত বিশুদ্ধ বরফ, কতকগুলি বরফের টুকরা লইতে হইবে যাহার ফাঁকে ফাঁকে বাতাস থাকিবে। (3) পারদ থার্মোমিটার প্রস্তুত করিতে কি প্রকার নলের প্রয়োজন?—যে কোন ব্যাসের নল, সমব্যাসের সরু নল, সমব্যাসের কৈশিক নল।

B. Completion type : পারদ থার্মোমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক এবং—মধ্যের দৈর্ঘ্য সমান 100 ভাগে ভাগ করিলে প্রত্যেক ভাগ 1°C হইবে যদি কৈশিক নলটি—হয়। (2) 24 ঘণ্টার মধ্যে বাতাসের—ও লঘিষ্ঠ উষ্ণতা মাপিবার জন্য সিক্সের—থার্মোমিটার ব্যবহৃত হয়।

C. True or false type : (1) যে কোন পারদ থার্মোমিটার দ্বারা শরীরের উষ্ণতা মাপা যায়। (2) ডাক্তারী থার্মোমিটার দ্বারা জলের স্ফুটনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক মাপা যায়। (3) অ্যালকোহল থার্মোমিটার দ্বারা জলের হিমাঙ্ক মাপা সুবিধা।

অনুশীলনী (Exercise)

1. এমন একটি উষ্ণতা স্থির কর যাহার মান সেন্টিগ্রেড এবং ফারেনহাইট স্কেলে একই সংখ্যায় আসিবে। [(1·2b) সমীকরণে $R_c = R_f = R$ হইবে।] [Ans. = 40°]

2. A এবং B দুইটি থার্মোমিটার লওয়া হইল। A থার্মোমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক এবং উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের পাঠ যথাক্রমে 60° এবং 120°। B থার্মোমিটারের নিম্ন ও উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্কের পাঠ যথাক্রমে 0° এবং 140°। কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতার মান B থার্মোমিটারে 100° পাওয়া গেলে A থার্মোমিটারে ঐ উষ্ণতার মান কত হইবে? [Apply (1·2a) সমীকরণ] [Ans, 102·86°]

3. কোন থার্মোমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক 20° এবং ইহার উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক 150°। কোন তরলের প্রকৃত উষ্ণতা 45°C হইলে এই ত্রুটিযুক্ত থার্মোমিটার ঐ তরলের কত উষ্ণতা দেখাইবে? [Ans. 78·5°]

4. কোন থার্মোমিটারের নিম্ন-ও উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক যথাক্রমে 20° এবং 140°। এই থার্মোমিটার কোন বস্তুর কত উষ্ণতা দেখাইবে যখন বস্তুর প্রকৃত উষ্ণতা 92°F? (H. S. 1962) [Ans. 60°]

5. কত উষ্ণতায় একটি ফারেনহাইট থার্মোমিটারের পাঠ একটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটারের পাঠ অপেক্ষা 5 গুণ বেশী হইবে? [Ans. 10°C]

6. (i) একটি সেন্টিগ্রেড থার্মোমিটার যখন কোন বস্তুর উষ্ণতা 25°C দেখায় তখন ফারেনহাইট থার্মোমিটার ঐ বস্তুর উষ্ণতা কত দেখাইবে? (ii) কোন বস্তুর উষ্ণতা 25°C দ্বারা বৃদ্ধি পাইলে, ঐ বৃদ্ধি ফারেনহাইট স্কেলে কত সংখ্যা দ্বারা নির্দেশিত হইবে? (H. S. 1964)

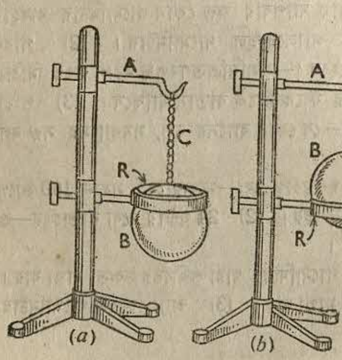
[Ans. (i) 77°F ; (ii) 45°F]

অধ্যায় 2

পদার্থের (কঠিন, তরল এবং গ্যাসের) প্রসারণ
[Expansion of substances (solids, liquids and gases)]

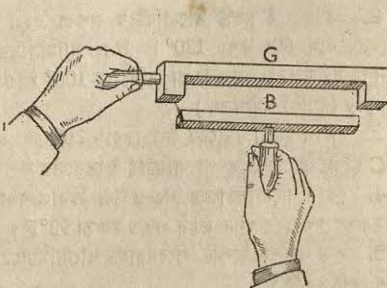
2-1. কঠিনের প্রসারণ : তাপ প্রয়োগে প্রায় সব কঠিনেরই প্রসারণ হইয়া থাকে যদিও বিভিন্ন কঠিনের ক্ষেত্রে বিভিন্ন প্রকার প্রসারণ হয়। নিম্নের পরীক্ষা দুইটির দ্বারা দেখান যাইতে পারে যে তাপ প্রয়োগে কঠিনের প্রসারণ হয়।

(*a*) **বল ও রিং লইয়া পরীক্ষা** :—একটি ফাঁপা পিতলের বল (*B*) লইয়া উহাকে একটি চেইনের (*C*) সাহায্যে একটি অনুভূমিক দণ্ড (*A*) হইতে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল। বলটির আকার এমন যে ঘরের উষ্ণতায় বলটি একটি রিং-এর মধ্যে সহজেই গলিয়া যাইতে পারে [2·1(*a*) নং চিত্র]। কিন্তু বলকে খুব গরম করিয়া ঘরের উষ্ণতায় রক্ষিত রিং-এর মধ্যে ঢুকাইতে গেলে উহা আর রিং-এর মধ্য দিয়া গলিয়া যাইতে পারে না [2·1(*b*)-নং চিত্র]। বলকে পুনরায় ঠাণ্ডা করিলে উহা আবার রিং-এর মধ্য দিয়া গলিয়া যায়। সুতরাং গরমে বলের আয়তন বৃদ্ধি পায় এবং ঠাণ্ডায় উহার আয়তন কমিয়া যায়।



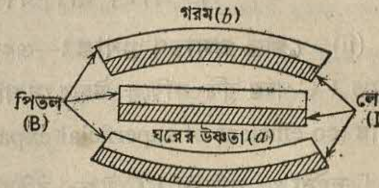
চিত্র 2.1 : উত্তাপে আয়তন-বৃদ্ধি

(*b*) **দণ্ড ও গেজ লইয়া পরীক্ষা** :—2.2 নং চিত্রে *G* একটি ধাতব গেজ এবং *B* একটি ধাতব দণ্ড। উভয়ের সঙ্গেই কাঠের হাতল লাগানো আছে। উভয়েই যখন ঘরের উষ্ণতায় থাকে তখন ধাতব দণ্ডটি (*B*) গেজের ফাঁকের মধ্যে ঠিক আঁটিয়া বসে। এখন যদি *B* দণ্ডকে খুব গরম করা হয় তাহা হইলে উহা প্রসারিত হইবে এবং ইহার ফলে দণ্ডটি আর গেজের মধ্যে ঢুকিবে না।



চিত্র 2.2 : দণ্ড ও গেজ

2-2. বিভিন্ন কঠিনের প্রসারণ বিভিন্ন : একই আকারের (একই দৈর্ঘ্যের এবং একই প্রস্থের) একটি লোহার পাত (I) ও একটি পিতলের পাত (B) লইয়া উহাদিগকে ঘরের উষ্ণতায় রিভেট করা হইল। এখন উহারা সোজা হইয়া থাকিবে [2·3(a) নং চিত্র]। বার্ণারের সাহায্যে পাত দুইটিকে খুব গরম করিলে লোহার পাত (I) অপেক্ষা পিতলের পাতের (B) দৈর্ঘ্য প্রসারণ বেশী হইবে। ইহার ফলে পাত দুইটি এমনভাবে বাঁকিয়া যাইবে যাহাতে পিতলের পাত বাহিরের দিকে এবং লোহার পাত ভিতরের দিকে থাকিতে পারে [2.3(b) নং চিত্র]। আবার দুইটি পাতকেই বরফের মধ্যে রাখিয়া ঠাণ্ডা করিলে লোহার পাত অপেক্ষা পিতলের পাতের দৈর্ঘ্যের সংকোচন বেশী হইবে। ইহার ফলে পাত দুইটি এমনভাবে বাঁকিয়া যাইবে যাহাতে পিতলের পাত ভিতরের দিকে এবং লোহার পাত বাহিরের দিকে থাকিতে পারে [2.3(c)নং চিত্র]।



চিত্র 2.3 : বিভিন্ন কঠিনের প্রসারণ বিভিন্ন

2-3. কঠিনের বিভিন্ন প্রকার প্রসারণ-গুণাঙ্ক (Different co-efficients of expansion of a solid) : কঠিনের দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং বেধ আছে। এজন্য কঠিনের প্রস্থ এবং বেধের তুলনায়, উহার দৈর্ঘ্য যখন খুব বেশী হয় তখন উহার দৈর্ঘ্য প্রসারণই বিবেচ্য বিষয় হয়। আবার কঠিনের বেধের তুলনায় ক্ষেত্রফল বেশী হইলে উহার ক্ষেত্রফলের প্রসারণই প্রধান বিষয় হয়। কঠিনের যখন দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং বেধ বেশী থাকে তখন উহার কেবল আয়তন প্রসারণই বিবেচনা করা হয়। এই কারণে কঠিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক, ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক এবং আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক হইয়া থাকে।

(i) **দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক** :—একক দৈর্ঘ্যের কোন কঠিনের উষ্ণতা 0°C হইতে 1°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হয় তাহাকে ঐ কঠিন পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক (co-efficient of linear expansion) বলে।

[**দ্রষ্টব্য :** কঠিনের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ এত কম যে প্রকৃতপক্ষে একক দৈর্ঘ্যের কঠিনের উষ্ণতা-স্কেলের যে কোন স্থান হইতে 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিলে উহার যে দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হয় তাহা প্রায় সমান থাকে এবং তাহাকেই কঠিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ধরা হয়।]

মনে কর কোন কঠিনের দৈর্ঘ্য 0°C ও t°C উষ্ণতায় যথাক্রমে l_o ও l_t এবং উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক α। সুতরাং সংজ্ঞা অনুযায়ী,

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{0°C \text{ উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} = \frac{l_t - l_o}{l_o t};$$

অথবা, $l_t = l_0(1+\alpha t)$ ... (2-3a)

যদি t_1°C এবং t_2°C উষ্ণতায় ($t_2 > t_1$) কঠিনের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1 ও l_2 হয় তাহা হইলে উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ খুব কম হওয়ায়, (2-3a) সমীকরণকে লেখা যায়,

$$l_2 = l_1\{1+\alpha(t_2 - t_1)\} \quad \cdots \quad (2\text{-}3b)$$

(ii) **ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক** :—একক ক্ষেত্রফলের কোন কঠিনের উষ্ণতা 0°C হইতে 1°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ ক্ষেত্র-বৃদ্ধি হয় তাহাকে ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক (co-efficient of superficial expansion) বলে।

[**দ্রষ্টব্য :** কঠিনের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য উহার যে পরিমাণ ক্ষেত্রবৃদ্ধি হয় তাহা এত কম, যে একক ক্ষেত্রফলের ক্ষেত্রে উষ্ণতা-স্কেলের যে কোন স্থান হইতে 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিলে, উহার যে ক্ষেত্রবৃদ্ধি হয় তাহা প্রায় সমান থাকে এবং তাহাকেই কঠিনের ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক ধরা হয়।]

মনে কর কোন কঠিনের ক্ষেত্রফল 0°C এবং t°C উষ্ণতায় যথাক্রমে s_o ও s_t এবং উহার ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক β। সুতরাং সংজ্ঞা অনুযায়ী,

$$\beta = \frac{\text{ক্ষেত্র-বৃদ্ধি}}{0^\circ\text{C উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} = \frac{s_t - s_o}{s_o t};$$

অথবা, $s_t = s_o(1+\beta t)$ ... (2-3c)

যদি t_1°C এবং t_2°C উষ্ণতায় ($t_2 > t_1$) কঠিনের ক্ষেত্রফল যথাক্রমে s_1 ও s_2 হয় তাহা হইলে উহার ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক খুব কম হওয়ায়, (2-3c) সমীকরণকে লেখা যায়, $s_2 = s_1\{1+\beta(t_2 - t_1)\}$ ... (2-3d)

(iii) **আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক** :—একক আয়তনের কোনও কঠিনের উষ্ণতা 0°C হইতে 1°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করিলে উহার যে পরিমাণ আয়তন-বৃদ্ধি হইবে তাহাকে আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক (co-efficient of volume expansion) বলে।

[**দ্রষ্টব্য :** কঠিনের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য উহার যে পরিমাণ আয়তন-বৃদ্ধি হয় তাহা এত কম যে একক আয়তনের কঠিনের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি, উষ্ণতা-স্কেলের যে কোন স্থান হইতে করিলেও উহার আয়তন-বৃদ্ধি প্রায় একই থাকে এবং তাহাকেই আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক ধরা হয়।]

মনে কর কোন কঠিনের আয়তন 0°C এবং t°C উষ্ণতায় যথাক্রমে v_o ও v_t এবং উহার আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক γ। সুতরাং সংজ্ঞা অনুযায়ী,

$$\gamma = \frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{0^\circ\text{C উষ্ণতায় আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} = \frac{v_t - v_o}{v_o t},$$

অথবা, $v_t = v_o(1+\gamma t)$ ... (2-3e)

যদি t°_1C এবং t°_2C উষ্ণতায় $(t_2 > t_1)$ কঠিনের আয়তন যথাক্রমে v_1 ও v_2 হয় তাহা হইলে উহার আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক খুব কম হওয়ায় (2-3e) সমীকরণকে লেখা যায়, $v_2 = v_1\{1+\gamma(t_2-t_1)\}$ ··· (2-3f)

2-4. কঠিনের তিনপ্রকার প্রসারণ-গুণাঙ্কের পারস্পরিক সম্বন্ধ (Inter-relations of the three expansion-coefficients of a solid) : মনে কর 0°C উষ্ণতায় একক দৈর্ঘ্যের একটি ঘনক লইয়া তাহার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করা করা হইল। এই উষ্ণতা-বৃদ্ধির ফলে উহার প্রত্যেকে বাহুর দৈর্ঘ্য হইবে $(1+\alpha)$। অতএব উহার প্রত্যেক তলের ক্ষেত্রফল হইবে $s_t = (1+\alpha)^2$ এবং উহার আয়তন হইবে $v_t = (1+\alpha)^3$।

(i) ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী, আমরা (2-3c) সমীকরণ হইতে লিখিতে পারি। $s_t = s_o\ (1+\beta t)$; অথবা, $(1+\alpha)^2 = 1.(1+\beta.1)$। কিন্তু α খুব কম হওয়ায় α^2-কে ছাড়িয়া দিলে আমরা পাই, $\beta = 2\alpha$ ··· (2-4a)

(ii) আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী, আমরা (2-3e) সমীকরণ হইতে লিখিতে পারি, $v_t = v_o(1+\gamma t)$; অথবা, $(1+\alpha)^3 = 1.(1+\gamma.1)$। কিন্তু α খুব কম হওয়ায় α^2 এবং α^3-কে ছাড়িয়া দেওয়া যাইতে পারে। সুতরাং আমরা পাই,

$$\gamma = 3\alpha \quad \cdots \quad (2\text{-}4b)$$

উষ্ণতার এবং দৈর্ঘ্যের স্কেলের উপর কঠিনের তিন প্রসারণ-গুণাঙ্কের নির্ভরশীলতা : প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী আমরা লিখিতে পারি,

$$\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{0°C উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য}} \times \frac{1}{\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \quad \cdots \quad (2\text{-}4c)$$

$$\text{ক্ষেত্র-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \beta = \frac{\text{ক্ষেত্র-বৃদ্ধি}}{\text{0°C উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল}} \times \frac{1}{\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \quad \cdots \quad (2\text{-}4d)$$

$$\text{আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \gamma = \frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{0°C উষ্ণতায় আয়তন}} \times \frac{1}{\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \quad \cdots \quad (2\text{-}4e)$$

উপরোক্ত তিনটি সমীকরণে দুইটি ভগ্নাংশের গুণ আছে। প্রথম ভগ্নাংশ, দুইটি একই প্রকার রাশির (দৈর্ঘ্য কিংবা ক্ষেত্রফল কিংবা আয়তন) অনুপাত মাত্র। কাজেই প্রথম ভগ্নাংশের রাশিগুলি একই এককে মাপা হয় বলিয়া উহাদের অনুপাত সংখ্যামাত্র হইবে এবং ঐ রাশির এককের উপর নির্ভর করিবে না। অতএব, α, β এবং γ যথাক্রমে দৈর্ঘ্যের কিংবা ক্ষেত্রফলের কিংবা আয়তনের স্কেলের উপর নির্ভর করিবে না।

কিন্তু ঐ তিন সমীকরণের দ্বিতীয় ভগ্নাংশের হরে কেবলমাত্র উষ্ণতা থাকায় α, β ও γ-এর মান উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভর করিবে। $1°\text{F} = (\frac{5}{9})°\text{C}$; কাজেই 1°F উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে প্রসারণ-গুণাঙ্ক পাওয়া যাইবে তাহা 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য প্রাপ্ত

প্রসারণ গুণাঙ্কের $\frac{5}{9}$ অংশ হইবে। **যথা,** পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000018 প্রতি সেন্টিগ্রেড ডিগ্রীতে। কাজেই ফারেনহাইটে উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক হইবে, $\cdot000018 \times \frac{5}{9} = \cdot000010$ প্রতি ফারেনহাইট ডিগ্রীতে।

বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে α, β ও γ-এর মান বিভিন্ন :—একই উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে বিভিন্ন পদার্থের প্রসারণ বিভিন্ন পরিমাণে হইয়া থাকে [2-2 পরিচ্ছেদ দেখ]। কাজেই বিভিন্ন পদার্থের ক্ষেত্রে α, β ও γ-এর মান বিভিন্ন হইবে। যথা,—পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক ·000018 প্রতি °C-এ, কিন্তু লোহার ক্ষেত্রে উহার মান ·000012 প্রতি °C-এ। আবার 'ইনভার স্টীলের' (Inver steel) [যাহা নিকেল এবং স্টীলের সংকর ধাতু] দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক অত্যন্ত কম এজন্য ঐ সংকর ধাতু ঘড়ির পেণ্ডুলাম কিংবা ব্যালান্স-চক্র প্রস্তুত করিতে ব্যবহার করা হয়। নিম্নে কয়েকটি পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক দেওয়া হইল যাহাদের মান প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে।

পিতল—·000018; লৌহ—·000012; তামা—·000017 ; ইনভার ·0000009 ; কাচ—·0000089 ; প্ল্যাটিনাম—·0000089।

2-5. পদার্থের (কঠিন কিংবা তরলের) উষ্ণতার সহিত উহার ঘনত্বের সম্বন্ধ (Relation between the temperature and density of a substance (solid or liquid) : মনে কর 0°C উষ্ণতায় কোন পদার্থের (কঠিন কিংবা তরলের) আয়তন এবং ঘনত্ব যথাক্রমে v_o এবং ρ_o। অতএব 0°C উষ্ণতায় পদার্থের ভর $= v_o\rho_o$। ঐ একই পদার্থের t°C উষ্ণতায় যদি আয়তন এবং ঘনত্ব যথাক্রমে v_t এবং ρ_t হয় তাহা হইলে t°C ঐ পদার্থের ভর $= v_t\rho_t$। যেহেতু পদার্থের ভর নষ্ট হয় না সেইহেতু আমরা লিখিতে পারি,

$$v_o\rho_o = v_t\rho_t = v_o\,(1+\gamma t)\rho_t \text{ ; অথবা } \rho_o = \rho_t(1+\gamma t) \quad \cdots \quad (2\text{-}5a)$$

[(2-3e) সমীকরণ হইতে]

এখানে γ = পদার্থের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক।

(2-5a) সমীকরণে, ρ_o এবং ρ_t-এর মধ্যে যে সম্বন্ধ প্রকাশিত হইয়াছে তাহা কঠিন এবং তরল এই উভয় ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য।

কঠিনের ক্ষেত্রে সংক্ষিপ্ত সমীকরণ : মনে কর কোন কঠিনের 0°C, t_1°C এবং t_2°C উষ্ণতায় $(t_2 > t_1)$ উহার ঘনত্ব যথাক্রমে ρ_0, ρ_1 এবং ρ_2। (2-5a) সমীকরণ হইতে আমরা লিখিতে পারি,

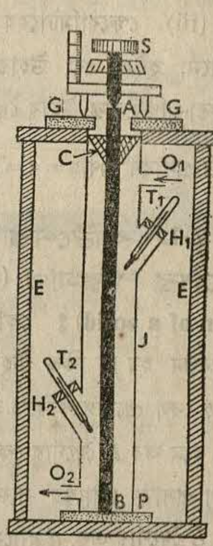
$$\rho_o = \rho_1(1+\gamma t_1) = \rho_2(1+\gamma t_2) \text{ ; অথবা, } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1+\gamma t_2}{1+\gamma t_1} \quad \cdots \quad (2\text{-}5b)$$

$(1+\gamma t_2)$-কে $(1+\gamma t_1)$ দ্বারা ভাগ করিয়া ঐ ভাগফলের যে রাশিগুলিতে

γ^2, γ^3, প্রভৃতি থাকিবে তাহাদিগকে ছাড়িয়া দিলে (যেহেতু কঠিনের ক্ষেত্রে আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক γ কম হয়) আমরা পাই $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1 + \gamma(t_2 - t_1)$

অথবা, $\rho_1 = \rho_2\{1 + \gamma(t_2 - t_1)\}$ ... (2-5c)

2-6. দণ্ডাকৃতি কোন কঠিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার পদ্ধতি (Method of determining the co-efficient of linear expansion of a solid in the form of a rod) : দৈর্ঘ্য-প্রসারণ নির্ণয় করিবার জন্য যে যন্ত্রটির প্রয়োজন তাহা 2.4নং চিত্রে দেখান হইল। প্রায় এক মিটার লম্বা পরীক্ষণীয় ধাতব দণ্ডকে (AB) একটি মোটা জ্যাকেটের (J) মধ্যে খাড়াভাবে বসাইয়া ঐ জ্যাকেটকে একটি কাঠের ফ্রেমে (E) ক্লিপ দ্বারা আটকাইয়া রাখা হয়। জ্যাকেটের নীচের মুখ ফ্রেমের পাটাতনের উপর রক্ষিত একটি কাচ কিংবা মার্বেলের পাতের (P) উপর স্থাপিত থাকায়, ঐ মুখ বন্ধ হইয়া যায়। দণ্ডের (AB) উপরপ্রান্ত একটি রবারের ছিপির (C) ছিদ্রের মধ্যে প্রবেশ করাইয়া ঐ ছিপি দ্বারা জ্যাকেটের উপরের মুখও বন্ধ করা হয়। জ্যাকেটের গায়ে চারিটি ছিদ্র আছে। O_1 এবং O_2 ছিদ্র দুইটিকে যথাক্রমে স্টীমের আগম ও নির্গমের জন্য ব্যবহার করা হয়। H_1 ও H_2 ছিদ্র দুইটির মুখ রবারের ছিপি দ্বারা বন্ধ করিয়া তাহাদের মধ্যে যথাক্রমে থার্মোমিটার T_1 ও T_2 প্রবেশ করানো হয়। দণ্ডের নিম্ন-প্রান্ত (B) বন্ধ থাকায় এবং উপরপ্রান্ত (A) মুক্ত থাকায় উহার প্রসারণ কেবলমাত্র উপরের দিকেই হইতে পারে।



চিত্র 2.4 : পুলিনজারের যন্ত্র

ফ্রেমের (E) মাথায় একটি ছিদ্রযুক্ত কাচের প্লেট (G) অনুভূমিকভাবে বসানো থাকে এবং দণ্ডের উপরপ্রান্ত ঐ ছিদ্রের মধ্য দিয়া কাচের প্লেটের একটু বাহিরে আসে। একটি স্ফেরোমিটারকে (S) কাচের প্লেটের উপর এমনভাবে বসানো হয় যাহাতে উহার বাহিরের তিনটি পা কাচের প্লেটের উপর বসে এবং মধ্য পা-কে স্ক্রু-এর সাহায্যে দণ্ডের উপর-তলকে স্পর্শ করানো যাইতে পারে।

পরীক্ষা :– (i) দণ্ডটিকে জ্যাকেটে বসাইবার পূর্বে উহার দৈর্ঘ্য l একটি মিটার স্কেল দ্বারা মাপিয়া রাখা হইয়াছিল এবং জ্যাকেটে স্টীম পাঠাইবার পূর্বে T_1 ও T_2 থার্মোমিটার দুইটির পাঠ লিখিয়া রাখা হইয়াছিল। স্ফেরোমিটারের মধ্য-পা স্ক্রু-এর

সাহায্যে নীচে নামাইয়া দণ্ডের উপর প্রান্তকে স্পর্শ করানো হইল এবং উহার পাঠ (R_1) পড়িয়া লওয়া হইল।

(ii) স্ক্রু-এর সাহায্যে স্ফেরোমিটারের মধ্য-পা কিছুটা উপরে তোলা হইল যাহাতে দণ্ডটি উপরের দিকে প্রসারিত হইতে বাধা না পায়। এক্ষণে জ্যাকেটের মধ্যে অনবরত স্টীম প্রবেশ করান হইল যতক্ষণ না পারদ থার্মোমিটার দুইটির (T_1 ও T_2) পাঠ স্থির মানে আসে। প্রত্যেক থার্মোমিটারের এই স্থির পাঠ হইতে উহার প্রাথমিক পাঠ বাদ দিলে উহাদের দ্বারা জ্যাকেটের দুই স্থানের উষ্ণতা-বৃদ্ধি পাওয়া যাইবে। এই উষ্ণতা-বৃদ্ধির গড় লইলে দণ্ডের গড় উষ্ণতা-বৃদ্ধি θ পাওয়া যাইবে।

(iii) স্ফেরোমিটারের মধ্য-পা আবার নীচে নামাইয়া দণ্ডের উপরপ্রান্তকে স্পর্শ করানো হইল এবং উহার পাঠ (R_2) পড়িয়া লওয়া হইল। অতএব দণ্ডটির θ°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য উহার দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হইবে $x=(R_2 \sim R_1)$। অতএব দণ্ডের পদার্থের

দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=\alpha=\dfrac{x}{l\theta}$ ... (2-6a)

2-7. কঠিনের প্রসারণে কিংবা সংকোচনে উদ্ভূত বলের পরিমাণ (Force developed due to expansion or contraction of a solid) :

কোন কঠিন দণ্ডের উষ্ণতার পরিবর্তন করিলে উহার দৈর্ঘ্যেরও পরিবর্তন হয়। কিন্তু উহার প্রাথমিক দৈর্ঘ্যকে স্থির রাখিতে হইলে উহার উপর প্রচণ্ড বল প্রয়োগ করিতে হইবে যাহার পরিমাণ নিম্নলিখিতভাবে নির্ণয় করা যায়।

মনে কর L দৈর্ঘ্যের কোন দণ্ডের θ°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করায় উহার দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হইল l। দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্কের সংজ্ঞা অনুযায়ী $\alpha=l/(L\theta)$; অথবা, $\alpha\theta=l/L$। আবার যদি L দৈর্ঘ্যের এবং d ব্যাসের কোন দণ্ডের উপর F পরিমাণ বল প্রয়োগ করিয়া উহার l পরিমাণ দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি করা হয় তাহা হইলে ইয়ং-গুণাঙ্কের (Y) সংজ্ঞা অনুযায়ী,

$$Y=\frac{F}{\pi d^2/4}\times\frac{L}{l} \qquad [(8\text{-}2a) \text{ সমীকরণ দেখ }]$$

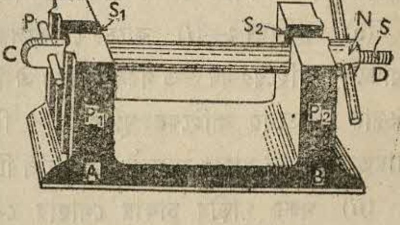
অথবা, $$F=\frac{Y\pi d^2}{4}\times\frac{l}{L}=\frac{Y\pi d^2}{4}\times\alpha\theta \quad \ldots \quad (2\text{-}7a)$$

অতএব L দৈর্ঘ্যের দণ্ডের θ°C উষ্ণতা বৃদ্ধি (কিংবা হ্রাস) করিয়া উহার প্রাথমিক দৈর্ঘ্যকে (L) স্থির রাখিতে হইলে উহার ভিতরের দিকে (কিংবা বাহিরের দিকে) যে বল (F) প্রয়োগ করিতে হইবে তাহা (2-7a) সমীকরণ দ্বারা নির্ণয় করা যাইবে। সুতরাং দণ্ডটির উপর **পীড়নের** (stress) পরিমাণ হইবে,

$$T=\frac{F}{\pi d^2/4}=Y\alpha\theta \quad \ldots \quad (2\text{-}7b)$$

বৈদ্যুতিক বাতি, এক্সরশ্মির বাল্ব, রেডিও ভাল্ভ প্রভৃতির কাচের আবরণের মধ্যে ধাতব তড়িৎদ্বার (electrode) প্রবেশ করানোর সময় এই প্রকার পীড়নের (stress) উদ্ভব হয়। এজন্য নানারকম পন্থা অবলম্বন করিয়া এই পীড়ন অপসারিত করা হয় যাহাতে কাচ ফাটিয়া না যায়।

2-8. কঠিনের প্রসারণে কিংবা সংকোচনে বলের উদ্ভব দেখাইবার পরীক্ষা ঃ এই পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহা 2.5 নং চিত্রে দেখান হইল। ইহাতে U-আকৃতির একটি ঢালাই লোহার ফ্রেম (AB) আছে যাহার দুই পাশের উল্লম্ব স্তম্ভের (P_1 ও P_2) উপর খাঁজ কাটা আছে (যথাক্রমে S_1 ও S_2)। এই খাঁজের মধ্যে একটি লৌহদণ্ডকে (CD) রাখিয়া, উহার একপ্রান্তের ছিদ্রের মধ্যে একটি লোহার পিন (P) পরাইয়া রাখা হয় এবং অপর প্রান্তের প্যাঁচকাটার মধ্যে হাতলযুক্ত একটি নাটকে (N) ঘুরাইয়া CD দণ্ডকে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখা হয়। এক্ষণে দণ্ডকে (CD) বার্ণার দ্বারা গরম করিলে উহা প্রসারিত হইয়া খাঁজের মধ্যে ঢিল হইবে এবং সঙ্গে সঙ্গে নাটকে (N) ঘুরাইয়া দণ্ডকে পুনরায় খাঁজের মধ্যে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখিতে হইবে। দণ্ডকে ইহার পর ঠাণ্ডা করিলে উহা সঙ্কুচিত হইতে চেষ্টা করিবে এবং পিনের (P) উপর প্রচণ্ড চাপ পড়িবে যাহার ফলে উহা ভাঙ্গিয়া যাইবে।



চিত্র 2.5 : লোহার পিন-ভাঙ্গার পরীক্ষা

প্রসারণে কিংবা সংকোচনে উদ্ভূত বলের ব্যবহারিক প্রয়োগ ঃ

(i) এঞ্জিনের বয়লার প্রস্তুত করিবার সময় যখন দুইখানি পাত জুড়িবার প্রয়োজন হয় তখন একটি পাতের ছিদ্র অপর পাতের ছিদ্রের উপর রাখিয়া ঐ ছিদ্রের মধ্যে খুব গরম রিভেট ঢুকাইয়া উহাকে হাতুড়ি দিয়া পিটাইয়া পাত দুইটির সঙ্গে মিশাইয়া দেওয়া হয়। রিভেট ঠাণ্ডা হইলে উহা সংকুচিত হইবে এবং ইহার ফলে যে বল উদ্ভূত হইবে তাহা দ্বারা পাত দুইটি বায়ুনিরুদ্ধভাবে যুক্ত হইবে।

ii) দালানের দুইটি বিপরীত দেওয়াল যখন বাহিরের দিকে হেলিয়া যায় তখন উহাদিগকে ভিতরে আনিবার জন্য ঐ দুই দেওয়ালের উপরাংশে অনেকগুলি মুখোমুখি ছিদ্র করিয়া তাহার মধ্যে লৌহদণ্ড ঢুকাইয়া দেওয়া হয়। দেওয়ালের বাহিরে দণ্ডগুলির যে অংশ থাকে তাহাতে প্যাঁচকাটা থাকে। দণ্ডের বহিরাংশের মধ্যে লোহার পাত ঢুকাইয়া দিয়া এবং দণ্ডের স্ক্রু-প্যাঁচের মধ্যে নাট ঢুকাইয়া দিয়া ঐ নাটকে লোহার পাতের সহিত দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখা হয়। এক্ষণে দুই দেওয়ালের মধ্যে দণ্ডগুলির যে অংশ আছে তাহাদিগকে পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করিতে হইবে। গরমের সময় দণ্ডগুলির প্রসারণ

হইবে এবং এই অবস্থায় নাট ঘুরাইয়া দণ্ডগুলিকে দেওয়ালের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া দিতে হইবে। দণ্ডগুলির ঠাণ্ডা হওয়ার সময় উহাদের সংকোচনহেতু যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হইবে তাহার টানে দেওয়াল দুইটি ভিতরের দিকে আসিতে থাকিবে। এইভাবে ক্রমে ক্রমে দেওয়াল দুইটি ভিতরের দিকে আসিয়া অবশেষে সোজা হইবে।

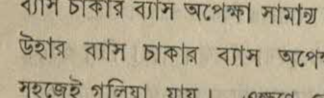
2-9. কঠিনের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Application of expansions of solids) ঃ ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কঠিনের প্রসারণের বহু প্রয়োগ দেখা যায়। কঠিনের প্রসারণের জন্য আমাদের দৈনন্দিন জীবনে যেমন সুবিধা পাইয়া থাকি সেইরূপ কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধারও সৃষ্টি হয় যাহার প্রতিবিধান করার প্রয়োজন হয়। নিম্নে কয়েকটি সুবিধা ও অসুবিধার বিষয় আলোচিত হইয়াছে।

(a) **সুবিধা** :—(*i*) কাচের বোতলের মুখে ঘষা কাচের ছিপি আটকাইয়া গেলে বোতলের বাহিরের মুখ দ্রুত গরম করিলে ঐ ছিপি খোলা সহজ হয়। কাচ কুপরিবাহী হওয়ায় বোতলের বাহিরের মুখের তাপ ছিপিতে পৌছিবার পূর্বেই বোতলের মুখের আয়তন-বৃদ্ধি হয় যাহার ফলে ঐ মুখে ছিপি ঢিলা হইয়া যায় এবং খোলা সহজ হয়।

(*ii*) গরুর গাড়ীর চাকায় লোহার বেড়কে দৃঢ়ভাবে আটকাইবার জন্য ঐ বেড়ের ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা সামান্য ছোট রাখা হয়। লোহার বেড়কে খুব গরম করিলে উহার ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা সামান্য বেশী হইয়া পড়ে এবং চাকা বেড়ের মধ্যে সহজেই গলিয়া যায়। এক্ষণে লোহার বেড়ের উপর ঠাণ্ডা জল ঢালিলে উহা সংকুচিত হইয়া গাড়ীর চাকাকে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া ধরিবে।

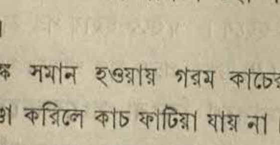
(*iii*) কাচের এবং প্লাটিনামের প্রসারণ-গুণাঙ্ক সমান হওয়ায় গরম কাচের মধ্যে গরম প্লাটিনামের তার প্রবেশ করাইয়া উভয়কে ঠাণ্ডা করিলে কাচ ফাটিয়া যায় না।

(b) **অসুবিধা** :—(*i*) **রেললাইন পাতিবার সময়** দুইটি রেলের জোড়ের মুখে সামান্য ফাঁক রাখিয়া, ফিস্‌প্লেট ও বল্টুর সাহায্যে লাইন দুইটিকে যুক্ত করা হয় (2.6 নং চিত্র)। সূর্যকিরণে এবং গাড়ীর চাকার ঘর্ষণে লাইন উত্তপ্ত হয় এবং উহাদের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি সত্ত্বেও লাইন দুইটি ঠেকিয়া যায় না।



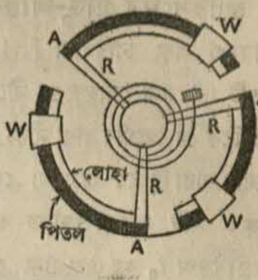
চিত্র 2.6 : রেল লাইনের জোড়ের মুখে ফাঁক

(*ii*) **লোহার সেতু প্রস্তুত করিবার সময়** উহার একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকিলে অপরপ্রান্ত রোলারের উপর বসানো থাকে যাহাতে উত্তপ্ত সেতু ঐ দিকে প্রসারিত হইবার সুযোগ পায় [2·7নং চিত্র]।


চিত্র 2.7 : সেতুর এক প্রান্ত রোলারের উপর রক্ষিত

(*iii*) **ব্যালান্স-চক্রযুক্ত ঘড়ি সঠিক সময় নির্দেশ করিবে যখন** উহার ব্যাস সব

ঋতুতে সমান থাকিবে। এজন্য ব্যালান্স-চক্রের পরিধিতে দুইটি ধাতু জোড়া থাকে যাহার বাহিরের পাত (সাধারণতঃ পিতল) ভিতরের পাত (সাধারণতঃ লোহা) অপেক্ষা অধিক প্রসারণশীল। চক্রের পরিধিকে সমান তিন ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগের এক-প্রান্ত (A) কেন্দ্রের সহিত যুক্ত তিনটি দণ্ডের (R) অগ্রভাগের সহিত যুক্ত করা থাকে। পরিধির তিন অংশের মুক্ত-প্রান্তের প্যাঁচের মধ্যে সমান ওজনের তিনটি নাট (W) প্রবেশ করানো থাকে [2.8 নং চিত্র]।

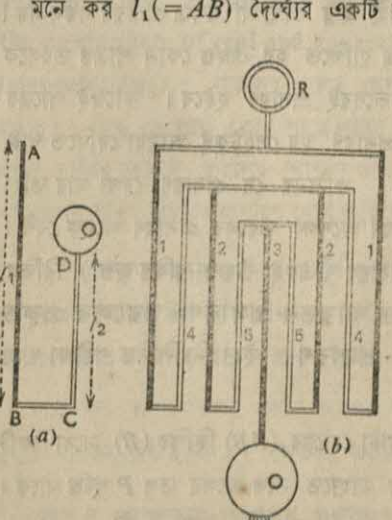


চিত্র 2.8 : ব্যালান্স-চক্র

গরমের সময় দণ্ডগুলির (R) দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হেতু বৃত্তাংশ তিনটি দূরে সরিয়া যাইবে কিন্তু বৃত্তাংশের বাহিরের পাতের প্রসারণ বেশী হওয়ায় উহারা এমনভাবে বাঁকিয়া যাইবে যাহার ফলে উহাদের মুক্ত প্রান্তগুলি নাটসমেত ভিতরের দিকে সরিয়া আসিবে। এজন্য চক্রের স্পন্দনকাল বদলায় না এবং সব ঋতুতে সমান থাকে।

(iv) **পেণ্ডুলামযুক্ত ঘড়ির** সময় সব ঋতুতে ঠিক রাখিতে হ্যারিসনের গ্রীড্-আয়রণ পেণ্ডুলাম ব্যবহার করা যাইতে পারে যাহার নীতি 2.9(a) নং চিত্র হইতে অনুধাবন করা যায়।

মনে কর $l_1(=AB)$ দৈর্ঘ্যের একটি কম প্রসারণশীল ধাতব দণ্ডের নীচ প্রান্তের সহিত, $l_2(=CD)$ $[l_2<l_1]$ দৈর্ঘ্যের বেশী প্রসারণশীল ধাতব দণ্ডের নীচ প্রান্ত BC দণ্ডের দ্বারা যুক্ত করা হইল। CD দণ্ডের মাথায় (D) পেণ্ডুলামের পিণ্ডকে (O) যুক্ত করা হইল। পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য হইবে $l=(l_1-l_2)$। যদি AB এবং CD দণ্ডদ্বয়ের উষ্ণতা পৃথকভাবে t°C বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে AB দণ্ডের প্রসারণের জন্য পিণ্ডটি (O) $l_1\alpha_1 t$ দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামিবে এবং CD দণ্ডের প্রসারণের জন্য পিণ্ডটি $l_2\alpha_2 t$ দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিবে। এখানে α_1 এবং α_2 যথাক্রমে AB ও CD দণ্ডের দৈর্ঘ্য-



চিত্র 2.9 : হ্যারিসনের পেণ্ডুলাম

হইবে এবং এই অবস্থায় নাট ঘুরাইয়া দণ্ডগুলিকে দেওয়ালের সঙ্গে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া দিতে হইবে। দণ্ডগুলির ঠাণ্ডা হওয়ার সময় উহাদের সংকোচনহেতু যে প্রচণ্ড বলের উদ্ভব হইবে তাহার টানে দেওয়াল দুইটি ভিতরের দিকে আসিতে থাকিবে। এইভাবে ক্রমে ক্রমে দেওয়াল দুইটি ভিতরের দিকে আসিয়া অবশেষে সোজা হইবে।

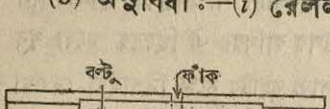
2-9. কঠিনের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ (Application of expansions of solids) ঃ ব্যবহারিক ক্ষেত্রে কঠিনের প্রসারণের বহু প্রয়োগ দেখা যায়। কঠিনের প্রসারণের জন্য আমাদের দৈনন্দিন জীবনে যেমন সুবিধা পাইয়া থাকি সেইরূপ কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধারও সৃষ্টি হয় যাহার প্রতিবিধান করার প্রয়োজন হয়। নিম্নে কয়েকটি সুবিধা ও অসুবিধার বিষয় আলোচিত হইয়াছে।

(a) **সুবিধা** :—(*i*) কাচের বোতলের মুখে ঘষা কাচের ছিপি আটকাইয়া গেলে বোতলের বাহিরের মুখ দ্রুত গরম করিলে ঐ ছিপি খোলা সহজ হয়। কাচ কুপরিবাহী হওয়ায় বোতলের বাহিরের মুখের তাপ ছিপিতে পৌঁছিবার পূর্বেই বোতলের মুখের আয়তন-বৃদ্ধি হয় যাহার ফলে ঐ মুখে ছিপি ঢিলা হইয়া যায় এবং খোলা সহজ হয়।

(*ii*) গরুর গাড়ীর চাকায় লোহার বেড়কে দৃঢ়ভাবে আটকাইবার জন্য ঐ বেড়ের ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা সামান্য ছোট রাখা হয়। লোহার বেড়কে খুব গরম করিলে উহার ব্যাস চাকার ব্যাস অপেক্ষা সামান্য বেশী হইয়া পড়ে এবং চাকা বেড়ের মধ্যে সহজেই গলিয়া যায়। এক্ষণে লোহার বেড়ের উপর ঠাণ্ডা জল ঢালিলে উহা সংকুচিত হইয়া গাড়ীর চাকাকে দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া ধরিবে।

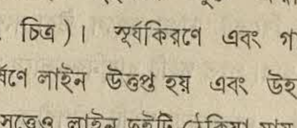
(*iii*) কাচের এবং প্লাটিনামের প্রসারণ-গুণাঙ্ক সমান হওয়ায় গরম কাচের মধ্যে গরম প্লাটিনামের তার প্রবেশ করাইয়া উভয়কে ঠাণ্ডা করিলে কাচ ফাটিয়া যায় না।

(b) **অসুবিধা** :—(*i*) **রেললাইন পাতিবার সময়** দুইটি রেলের জোড়ের মুখে সামান্য ফাঁক রাখিয়া, ফিস্‌প্লেট ও বল্টুর সাহায্যে লাইন দুইটিকে যুক্ত করা হয় (2.6 নং চিত্র)। সূর্যকিরণে এবং গাড়ীর চাকার ঘর্ষণে লাইন উত্তপ্ত হয় এবং উহাদের দৈর্ঘ্যবৃদ্ধি সত্ত্বেও লাইন দুইটি ঠেকিয়া যায় না।



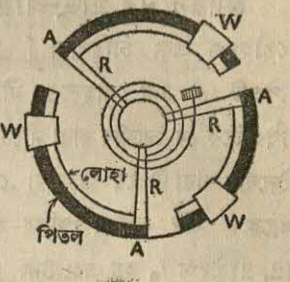
চিত্র 2.6 : রেল লাইনের জোড়ের মুখে ফাঁক

(*ii*) **লোহার সেতু প্রস্তুত করিবার সময়** উহার একপ্রান্ত দৃঢ়ভাবে আবদ্ধ থাকিলে অপরপ্রান্ত রোলারের উপর বসানো থাকে যাহাতে উত্তপ্ত সেতু ঐ দিকে প্রসারিত হইবার সুযোগ পায় [2·7নং চিত্র]।


চিত্র 2.7 : সেতুর এক প্রান্ত রোলারের উপর রক্ষিত

(*iii*) **ব্যালান্স-চক্রযুক্ত ঘড়ি** সঠিক সময় নির্দেশ করিবে যখন উহার ব্যাস সব

ঋতুতে সমান থাকিবে। এজন্য ব্যালান্স-চক্রের পরিধিতে দুইটি ধাতু জোড়া থাকে যাহার বাহিরের পাত (সাধারণতঃ পিতল) ভিতরের পাত (সাধারণতঃ লোহা) অপেক্ষা অধিক প্রসারণশীল। চক্রের পরিধিকে সমান তিন ভাগে ভাগ করিয়া প্রত্যেক ভাগের এক-প্রান্ত (*A*) কেন্দ্রের সহিত যুক্ত তিনটি দণ্ডের (*R*) অগ্রভাগের সহিত যুক্ত করা থাকে। পরিধির তিন অংশের মুক্ত-প্রান্তের প্যাঁচের মধ্যে সমান ওজনের তিনটি নাট (*W*) প্রবেশ করানো থাকে [2.8 নং চিত্র]।

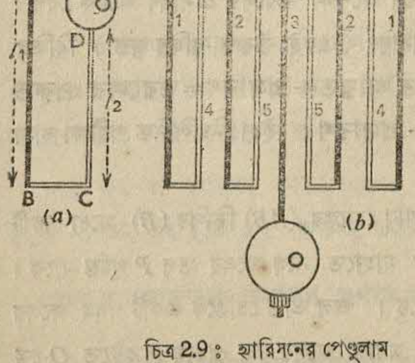


চিত্র 2.8 : ব্যালান্স-চক্র

গরমের সময় দণ্ডগুলির (*R*) দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি হেতু বৃত্তাংশ তিনটি দূরে সরিয়া যাইবে কিন্তু বৃত্তাংশের বাহিরের পাতের প্রসারণ বেশী হওয়ায় উহারা এমনভাবে বাঁকিয়া যাইবে যাহার ফলে উহাদের মুক্ত প্রান্তগুলি নাটসমেত ভিতরের দিকে সরিয়া আসিবে। এজন্য চক্রের স্পন্দনকাল বদলায় না এবং সব ঋতুতে সমান থাকে।

(*iv*) **পেণ্ডুলামযুক্ত ঘড়ির** সময় সব ঋতুতে ঠিক রাখিতে হ্যারিসনের গ্রীড্-আয়রণ পেণ্ডুলাম ব্যবহার করা যাইতে পারে যাহার নীতি 2.9(*a*) নং চিত্র হইতে অনুধাবন করা যায়।

মনে কর $l_1(=AB)$ দৈর্ঘ্যের একটি কম প্রসারণশীল ধাতব দণ্ডের নীচ প্রান্তের সহিত, $l_2(=CD)$ $[l_2<l_1]$ দৈর্ঘ্যের বেশী প্রসারণশীল ধাতব দণ্ডের নীচ প্রান্ত *BC* দণ্ডের দ্বারা যুক্ত করা হইল। *CD* দণ্ডের মাথায় (*D*) পেণ্ডুলামের পিণ্ডকে (*O*) যুক্ত করা হইল। পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য হইবে $l=(l_1-l_2)$। যদি *AB* এবং *CD* দণ্ডদ্বয়ের উষ্ণতা পৃথকভাবে t°C বৃদ্ধি করা যায় তাহা হইলে *AB* দণ্ডের প্রসারণের জন্য পিণ্ডটি (*O*) $l_1\alpha_1 t$ দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামিবে এবং *CD* দণ্ডের প্রসারণের জন্য পিণ্ডটি $l_2\alpha_2 t$ দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিবে। এখানে α_1 এবং α_2 যথাক্রমে *AB* ও *CD* দণ্ডের দৈর্ঘ্য-



চিত্র 2.9 : হ্যারিসনের পেণ্ডুলাম

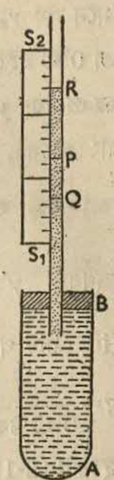
প্রসারণ গুণাঙ্ক। যখন উভয় দণ্ডের উষ্ণতা একসঙ্গে t°C বৃদ্ধি পায় তখন পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য ঠিক থাকিবে যদি $l_1\alpha_1 t = l_2\alpha_2 t$। অথবা, $l_1\alpha_1 = l_2\alpha_2$।

হ্যারিসনের গ্রীড্-আয়রণ পেণ্ডুলামে পাঁচখানা [(1, 1), (2, 2) এবং 3] লৌহদণ্ড এবং চারিখানা [(4, 4) এবং (5, 5)] পিতলের দণ্ড আছে। পেণ্ডুলামের পিণ্ডটি (O) 3নং লৌহদণ্ডের নীচে যুক্ত করা আছে [2.9 (b)]। লৌহদণ্ডগুলির প্রসারণ পিণ্ডটিকে যে দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামাইয়া দেয়, পিতল-দণ্ডগুলির প্রসারণ পিণ্ডকে সমান দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠাইয়া দেয়। এই কারণে পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য সব ঋতুতে সমান থাকে। যদি লৌহদণ্ডগুলির প্রথম জোড়ার (1, 1) দৈর্ঘ্য l_1 হয়, দ্বিতীয় জোড়ার (2, 2) দৈর্ঘ্য l_2 হয় এবং 3নং লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য l_3 হয় তাহা হইলে উহাদের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পিণ্ডটি (O) যে দৈর্ঘ্যের দ্বারা নীচে নামিবে তাহার পরিমাণ হইবে $(l_1+l_2+l_3)\alpha_1$। আবার পিতল দণ্ডগুলির প্রথম জোড়ার (4, 4,) দৈর্ঘ্য যদি l_4 হয় এবং দ্বিতীয় জোড়ার (5, 5) দৈর্ঘ্য l_5 হয় তাহা হইলে উহাদের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে পিণ্ডটি যে দৈর্ঘ্যের দ্বারা উপরে উঠিবে তাহার পরিমাণ হইবে $(l_4+l_5)\alpha_2$। এখানে α_1 ও α_2 যথাক্রমে লোহার এবং পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক বুঝাইতেছে। অতএব পেণ্ডুলামের দৈর্ঘ্য ঠিক থাকিবে যখন $(l_1+l_2+l_3)\alpha_1 = (l_4+l_5)\alpha_2$ ··· (2-9a)

2-10. তরলের প্রসারণ (Expansion of liquids) ঃ (i) কঠিনের ন্যায় তরলের নির্দিষ্ট কোন আকার নাই কিন্তু উহার নির্দিষ্ট আয়তন আছে। এজন্য **তরলের কেবলমাত্র আয়তন-প্রসারণই হয়** দৈর্ঘ্য বা ক্ষেত্র প্রসারণ সম্ভব নয়। (ii) আবার তরলকে কোন-না-কোন পাত্রে রাখিতে হয়, এজন্য কোন পাত্রস্থ তরলকে গরম করিতে গেলে পাত্র এবং তরল উভয়েরই প্রসারণ হইবে। কাজেই পাত্রের প্রসারণের তুলনায় তরলের যেটুকু বেশী প্রসারণ হয় সেইটুকুই আমরা দেখিতে পাই, যাহাকে তরলের **আপাত-প্রসারণ** বলে। কঠিনের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহার প্রকৃত-প্রসারণ। (iii) কঠিনের প্রসারণ অপেক্ষা তরলের প্রসারণ অনেক বেশী। আবার একই আয়তনের বিভিন্ন তরলের প্রসারণ (একই উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য) বিভিন্ন হইয়া থাকে। অতএব, **তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণ = তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ − পাত্রের আয়তন-প্রসারণ**। ইহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা দেখানো যাইতে পারে।

পরীক্ষা ঃ রঙিন জলপূর্ণ একটি মোটা চোঙের (AB) ছিপির (B) মধ্যে একটি সরু লম্বা নল (QPR) প্রবেশ করানো হইল যাহাতে নলে জলের তল P পর্যন্ত থাকে। নলের পাশে একটি স্কেল (S_1S_2) বাঁধা আছে। জল ভর্তি চোঙকে একটি গরম জলের পাত্রের মধ্যে হঠাৎ ডুবাইয়া দিলে নলের মধ্যস্থ জলের তল প্রথমে P হইতে Q-তে নামিয়া যাইবে এবং পরে Q হইতে R পর্যন্ত উঠিয়া স্থির থাকিবে [2.10 নং চিত্র]।

প্রথমে গরম জলের তাপ কাচের চোঙকে প্রসারিত করিবে যাহার জন্য নলের জলের তল P হইতে Q-তে নামিবে। সুতরাং নলের PQ দৈর্ঘ্যের আয়তন চোঙের আয়তন-প্রসারণ নির্দেশ করিবে। কিছু পরে যখন গরম জলের তাপ চোঙের কাচের মধ্য দিয়া রঙিন জলে প্রবেশ করিবে তখন চোঙের রঙিন জল প্রসারিত হইয়া Q হইতে R পর্যন্ত যাইবে। কাচ অপেক্ষা জলের আয়তন-প্রসারণ বেশী হওয়ায় PQ অপেক্ষা QR বেশী হইবে। নলের QR দৈর্ঘ্যের আয়তন চোঙের রঙিন জলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ নির্দেশ করিতেছে। অতএব এই পরীক্ষা হইতে নিম্নলিখিত সিদ্ধান্তগুলিতে আসা যায়।



চিত্র 2.10 : তরলের প্রসারণ

(i) গরমে তরল প্রসারিত হয় এবং তরলের প্রসারণ কঠিনের (এখানে কাচের) প্রসারণ অপেক্ষা বেশী।

(ii) তরলের আপাত-প্রসারণ (PR) = তরলের প্রকৃত প্রসারণ (QR) − পাত্রের আয়তন-প্রসারণ (PQ)।

(iii) যদি উপরোক্ত পরীক্ষা বিভিন্ন তরল লইয়া করা হয় তাহা হইলে দেখা যাইবে যে বিভিন্ন তরলের প্রসারণ (প্রকৃত কিংবা আপাত প্রসারণ) বিভিন্ন।

2-11. তরলের প্রকৃত ও আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ (Definitions of the co-efficients of real and apparent expansions of a liquid and their inter-relations) :

তরলের প্রকৃত প্রসারণ বলিতে কেবলমাত্র তরলেরই প্রসারণ বুঝায়। কিন্তু তরলকে কোন পাত্রে লইয়া উভয়কে এক সঙ্গে গরম করিলে যে প্রসারণ দেখা যাইবে তাহাই তরলের আপাত-প্রসারণ হইবে। অতএব, তরলের আপাত-প্রসারণের সহিত পাত্রের প্রসারণ যোগ করিলে তরলের প্রকৃত প্রসারণ পাওয়া যাইবে।

(i) **প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (γ) : একক আয়তন তরল লইয়া, কেবলমাত্র উহারই উষ্ণতা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে যে আয়তন-বৃদ্ধি হইবে তাহাকে তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

মনে কর v_0 আয়তন কোন তরলের, উষ্ণতা 0°C হইতে t°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করায়, উহার আয়তন-বৃদ্ধি হইল x। অতএব তরলের,

$$\text{প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \gamma = \frac{x}{v_0 t} \quad \ldots \quad (2\text{-}11a)$$

(ii) **আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক** (γ') :—একক আয়তন তরল, একক

আয়তন পাত্রের মধ্যে লইয়া উভয়েরই উষ্ণতা 0°C হইতে 1°C বৃদ্ধি করিলে তরলের যে আয়তন বৃদ্ধি দেখা যাইবে তাহাকে তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক বলে।

মনে কর v_o আয়তনের কোন তরল v_o আয়তন পাত্রের মধ্যে রাখিয়া উভয়ের উষ্ণতা 0°C হইতে t°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করা হইল। যদি তরলের প্রকৃত প্রসারণ x হয় এবং পাত্রের প্রসারণ y হয় তাহা হইলে তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণ হইবে $(x-y)$। সুতরাং তরলের,

$$\textbf{আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক} = \gamma' = \frac{x-y}{v_o t} \quad \cdots \quad (2\text{-}11b)$$

অথবা, $\gamma' = \frac{x}{v_o t} - \frac{y}{v_o t} = \gamma - \frac{y}{v_o t}$ [(2-11a) সমীকরণ হইতে] ···(2-11b')

(ii) যদি পাত্রের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক g হয় তাহা হইলে,

$$g = \frac{\text{পাত্রের আয়তন-বৃদ্ধি}}{0^\circ\text{C উষ্ণতায় পাত্রের আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} = \frac{y}{v_o t} \quad \cdots \quad (2\text{-}11c)$$

সুতরাং (2-11b') সমীকরণকে লেখা যায়,

$$\gamma' = \gamma - g, \text{ অথবা, } \gamma = \gamma' + g \quad \cdots \quad (2\text{-}11d)$$

(2-11d) সমীকরণ দ্বারা তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক (γ), উহার আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক (γ') এবং পাত্রের পদার্থের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক (g) প্রভৃতির পারস্পরিক সম্বন্ধ প্রকাশিত হইতেছে।

2-12. জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ (Anomalons expansion of water) ঃ সাধারণ নিয়মে তরলের উষ্ণতা বৃদ্ধিতে উহার আয়তন বাড়ে কিন্তু জলের উষ্ণতা যখন 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত বাড়ানো হয় তখন উহার আয়তন ক্রমশঃ কমিয়া 4°C-এ ঐ আয়তন লঘিষ্ঠ হয় (অর্থাৎ 0°C হইতে 4°C পর্যন্ত জলের ঘনত্ব বৃদ্ধি পাইতে পাইতে 4°C-এ ঐ ঘনত্ব গরিষ্ঠ হয়)। জলের উষ্ণতা 4°C-এর উপরে তুলিলে, সাধারণ নিয়মানুযায়ী উহার আয়তন বাড়িতে থাকে (অর্থাৎ ঘনত্ব কমিতে থাকে)। 0°C হইতে 4°C উষ্ণতা পর্যন্ত জলের যে প্রসারণ হয় তাহাকে **'ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ'** বলে।*

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ দেখাইবার পরীক্ষা ঃ ইহার জন্য একটি স্থির আয়তন পাত্রের প্রয়োজন যাহা কেবলমাত্র জলের প্রকৃত প্রসারণ দেখাইবে। স্থির আয়তনের পাত্র গঠন করিতে নিম্নরূপ পদ্ধতি অবলম্বন করা হয়।

---

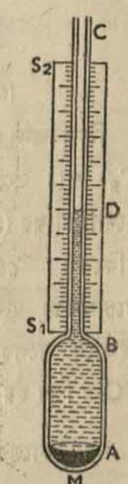
* জলের এই ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের কারণস্বরূপ বলা হয় যে জলের মধ্যে তিন প্রকার অণু থাকে যাহাদের সংকেত H_2O, $(H_2O)_2$ এবং $(H_2O)_3$। এই অণুগুলি জলের মধ্যে বিভিন্ন অনুপাতে থাকে। জলের আয়তন যখন লঘিষ্ঠ হয় তখন মনে করা হয় যে উহার মধ্যে সেই সময় উচ্চ আণবিক ওজনের অণুগুলির অনুপাত বেশী হইয়া যায়।

নীতি : মনে কর v_1 আয়তনের কাচের পাত্রের মধ্যে v_2 আয়তনের পারদ লওয়া হইল যাহাদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক যথাক্রমে g ও γ। পারদ সমেত ঐ পাত্রের উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি করিলে পাত্রের এবং পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ হইবে যথাক্রমে v_1gt এবং $v_2\gamma t$। পারদের প্রসারণ উপরের দিকে হওয়ায় পাত্রের আয়তন $v_2\gamma t$ দ্বারা কমিয়া যাইবে। অতএব পারদের উপরে পাত্রের যে স্থান আছে তাহার আয়তন স্থির থাকিবে যখন $v_2\gamma t = v_1gt$। অথবা,

$$v_2 = v_1\frac{g}{\gamma} = v_1\frac{27\times10^{-6}}{180\times10^{-6}} = \frac{3}{20}v_1 = \text{প্রায় } \frac{v_1}{7} \quad \cdots \quad (2\text{-}12a)$$

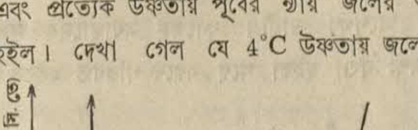
অতএব কাচের পাত্রের মধ্যে উহার আয়তনের প্রায় 7 ভাগের এক ভাগ পারদ লইলে পারদের উপরিস্থিত স্থানের আয়তন সব উষ্ণতায় একই থাকিবে।

পরীক্ষা : একটি নলযুক্ত (BC) চোঙের (AB) মধ্যে কিছু পারদ (M) লওয়া হইল যাহাতে উহার প্রসারণ পাত্রের প্রসারণকে রদ করিতে পারে। নলের (BC) গায়ে একটি স্কেল (S_1S_2) আটকাইয়া রাখা আছে [2.11নং চিত্র]। সম্পূর্ণ চোঙ এবং নলের কিছু অংশ জল দ্বারা ভর্তি করিয়া উহাদিগকে একটি বড় পাত্রের বরফ মিশ্রিত জলের মধ্যে কিছুক্ষণ ডুবাইয়া রাখা হইল। যখন নলের মধ্যস্থ জলের দৈর্ঘ্য অনেকক্ষণ স্থির থাকিল তখন ঐ দৈর্ঘ্য স্কেল হইতে মাপিয়া 0°C-এ জলের আয়তন নির্ণয় করা হইল [কারণ চোঙের (AB) আয়তন এবং নলের (BC) একক দৈর্ঘ্যের আয়তন পূর্বেই নির্ণয় করিয়া রাখা হইয়াছে]। এক্ষণে বরফগলা জলের উষ্ণতা 1°C করিয়া বাড়াইয়া 10°C পর্যন্ত তোলা হইল এবং প্রত্যেক উষ্ণতায় পূর্বের ন্যায় জলের আয়তন স্থির করা হইল। দেখা গেল যে 4°C উষ্ণতায় জলের আয়তন লঘিষ্ঠ হইতেছে।



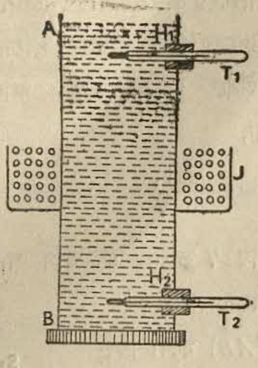
চিত্র 2.11 : স্থির আয়তন প্রসারণ পাত্র

একটি ছক কাগজের x-অক্ষের দিকে জলের উষ্ণতা নির্দেশ করিয়া এবং ঐ উষ্ণতার জন্য এক গ্রাম জলের আয়তন y-অক্ষের দিকে নির্দেশ করিয়া একটি লেখচিত্র আঁকিলে উহা 2.12 চিত্রের অনুরূপ হইবে। ঐ লেখচিত্রে দেখা যায় যে 4°C উষ্ণতায় জলের আয়তন লঘিষ্ঠ হয় কাজেই ঐ উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব গরিষ্ঠ হয়।



চিত্র 2.12 : জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ

2-13. 4°C উষ্ণতায় জলের গরিষ্ঠ ঘনত্ব দেখাইবার জন্য হোপের পরীক্ষা (Hope's experiment to demonstrate the maximum density of water at 4°C) :

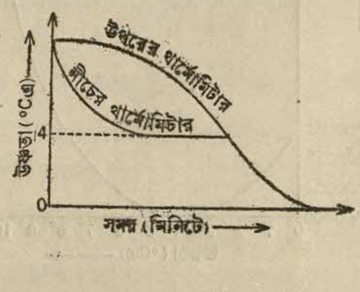


চিত্র 2.13 : হোপের যন্ত্র

এই পরীক্ষার জন্য একটি লম্বা কাচের চোঙকে (*AB*) 10°C উষ্ণতার জল দ্বারা ভর্তি করিয়া চোঙের উপরে এবং নীচে দুইটি থার্মোমিটার (যথাক্রমে T_1 ও T_2) প্রবেশ করাইয়া রাখা হইয়াছে। হিমমিশ্রণ (বরফ চূর্ণ ও লবণের মিশ্রণকে হিমমিশ্রণ বলে) ভর্তি একটি জ্যাকেট (*J*) চোঙের মধ্যস্থানকে বেষ্টন করিয়া আছে [2.13নং চিত্র]।

নিরীক্ষণ : প্রথমে দুই থার্মোমিটারের পাঠ এক থাকিলেও নীচের থার্মোমিটারের (T_2) পাঠ ক্রমশঃ কমিতে কমিতে আসিয়া 4°C-এ স্থির থাকিবে কিন্তু উপরের থার্মোমিটারের (T_1) পাঠের কোন পরিবর্তন হইবে না (অর্থাৎ উহা 10°C দেখাইতে থাকিবে)। চোঙের মধ্যস্থানের জল হিমমিশ্রণ দ্বারা ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হইবে এবং নীচে যাইয়া ওখানকার অপেক্ষাকৃত গরম জলকে চোঙের মধ্যভাগে সরাইয়া দিবে। এইভাবে জলের পরিচলন-স্রোত বহিতে থাকিবে যতক্ষণ না T_2 থার্মোমিটারের পাঠ 4°C-এ স্থির হয়।

যখন চোঙের মধ্যস্থানের জলের উষ্ণতা 4°C-এর নীচে যাইবে তখন ঐ জল 4°C উষ্ণতার জল অপেক্ষা হাল্‌কা (কাজেই চোঙের নীচে যাইতে পারিবে না) কিন্তু উপরের জল (যাহার উষ্ণতা 10°C) অপেক্ষা ভারী। কাজেই মধ্যস্থানের জল মধ্যস্থানে থাকিয়া, হিমমিশ্রণ দ্বারা ক্রমশঃ ঠাণ্ডা হইয়া পরে বরফে পরিণত হইবে। এই বরফ 10°C জল অপেক্ষা হাল্‌কা হওয়ায় চোঙের উপরে উঠিবে এবং উপরের জলের উষ্ণতা দ্রুত কমাইয়া দিতে থাকিবে (অর্থাৎ T_1 থার্মোমিটারের পাঠ দ্রুত কমিতে থাকিবে)। ইহার পরে উপরের থার্মোমিটারের (T_1) পাঠ 0°C-এ আসিবে কিন্তু নীচের থার্মোমিটারের (T_2) পাঠ 4°C এ স্থির থাকিবে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে 4°C উষ্ণতায় জল সর্বাপেক্ষা ভারী হয়



চিত্র 2.14 : থার্মোমিটার দুইটির পাঠের পরিবর্তন

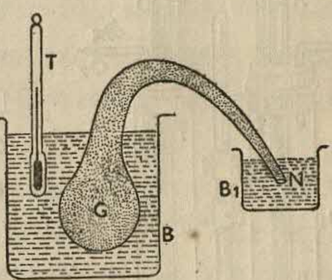
(অর্থাৎ উহার ঘনত্ব গরিষ্ঠ এবং আয়তন লঘিষ্ঠ হয়)। সময়ের সঙ্গে দুই থার্মোমিটারের পাঠের যে পরিবর্তন দেখা যাইবে তাহা 2.14নং চিত্রে দেখান হইল।

2-14. জলচর প্রাণীর জীবনের উপর জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফল (Effect of anomalous expansion of water on marine life) : জলের এই অদ্ভুত ধর্ম (ব্যক্তিক্রান্ত প্রসারণ) শীতের দেশে খুব ঠাণ্ডার সময় জলচর প্রাণীকে বাঁচিয়া থাকিতে সাহায্য করে।

শীতের দিনে কোন জলাশয়ের (নদী কিংবা পুকুর) উপরিভাগের জল ঠাণ্ডা বাতাসের সংস্পর্শে আসিয়া যখন ভারী হয় তখন ঐ জল জলাশয়ের নীচে চলিয়া যায়। নীচের অপেক্ষাকৃত গরম জল উপরে উঠিয়া আসে। এইভাবে জলের পরিচলন-স্রোত হইতে থাকিবে যতক্ষণ না নীচের জলের ঘনত্ব গরিষ্ঠ হয়, অর্থাৎ উষ্ণতা 4°C-এ আসে। উপরের জল আরও ঠাণ্ডা হইতে থাকিলে উহা হাল্‌কা হইবে কিন্তু নীচে না নামিয়া উপরে থাকিয়াই ঠাণ্ডা হইতে থাকিবে। উপরের জল ক্রমশঃ ঠাণ্ডা হইতে হইতে অবশেষে কঠিন বরফে পরিণত হইবে কিন্তু নীচের জল তখনও 4°C উষ্ণতায় তরল অবস্থায় থাকিবে। নীচের এই জলে জলচর প্রাণীরা সহজেই চলাফেরা করিয়া তাহাদের জীবন রক্ষা করিতে পারে।

2-15. ওয়েট থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় : ওয়েট থার্মোমিটার একটি কাচের বাল্‌ব মাত্র যাহার সহিত সরু মুখযুক্ত একটি বাঁকা নল যুক্ত করা আছে [2.15নং চিত্র]।

পরীক্ষা : প্রথমে পরিষ্কার, শুষ্ক এবং খালি বাল্‌বের ওজন w_1 লইয়া উহাকে ঘরের উষ্ণতায় (t_1°C) তরল দ্বারা ভর্তি* করা হইল এবং তরল সমেত বাল্‌বের ওজন w_2 লওয়া হইল। অতএব, বাল্‌ব-ভর্তি তরলের আয়তন $\frac{w_2 - w_1}{\rho} = m/\rho =$ বাল্‌বের ভিতরের আয়তন [এখানে $\rho = t_1$°C উষ্ণতায় তরলের ঘনত্ব]।



চিত্র 2.1 :: ওয়েট থার্মোমিটার

* সরু মুখযুক্ত বাল্‌বে তরল ভর্তি করিতে হইলে ঐ সরু মুখকে (N) একটি বীকারে (B_1) রক্ষিত তরলের মধ্যে ডুবাইয়া বাল্‌বকে (G) পর্যায়ক্রমে গরম ও ঠাণ্ডা করিতে হইবে। গরমের সময়, বাল্‌বের মধ্যস্থ বায়ুচাপ বেশী হওয়ায় কিছু বাতাস বীকারের (B_1) তরলের মধ্য দিয়া বুদ্‌বুদাকারে বাহিরে চলিয়া যাইবে কিন্তু বাল্‌ব (G) যখন ঠাণ্ডা হইবে তখন বাহিরের বায়ুচাপে বীকারের (B_1) কিছু তরল বাল্‌বে (G) প্রবেশ করিবে। এইভাবে সম্পূর্ণ বাল্‌ব তরল দ্বারা ভর্তি করা হয়।

(ii) তরল সমেত বাল্‌বকে গরম করিয়া উহাদিগকে কিছুক্ষণ স্থির উষ্ণতা t_2°C-এ রাখিলে কিছু তরল বাহির হইয়া যাইবে। বাল্‌বকে পুনরায় ঘরের উষ্ণতায় ($=t_1$°C) আনিলে উহার মধ্যস্থ তরল বাল্‌বকে আংশিকভাবে ভর্তি করিয়া রাখিবে। এই অবস্থায় উহাদের ওজন w_3 লইলে বাল্‌বের মধ্যস্থ তরলের আয়তন হইবে $\frac{w_3-w_1}{\rho}$ $=\frac{m'}{\rho}$, যাহা t_2°C-এ বাল্‌বকে সম্পূর্ণরূপে ভর্তি করিবে [অর্থাৎ বাল্‌বের আয়তন (m/ρ) তে আসিবে] কিন্তু t_1°C-এ বাল্‌বকে আংশিকভাবে ভর্তি করিবে (যাহার আয়তন হইবে m'/ρ)।

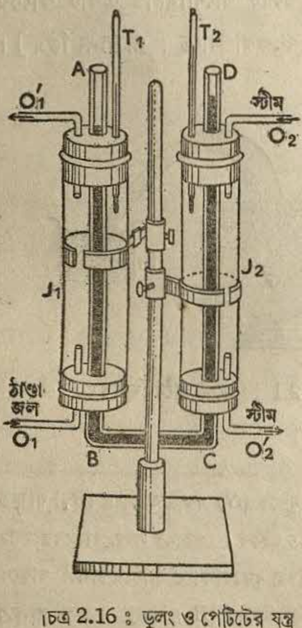
(iii) অতএব m'/ρ আয়তনের তরলের উষ্ণতা t_1°C হইতে t_2°C-এ তুলিলে উহার আয়তন হইবে m/ρ। কাজেই

$$\text{তরলের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক } \gamma' = \frac{\text{আপাত আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$$

$$\text{অথবা,} \quad \gamma' = \frac{m/\rho - m'/\rho}{m'/\rho(t_2-t_1)} = \frac{m-m'}{m'(t_2-t_1)} \quad \cdots \quad (2\text{-}15\ a)$$

$$\text{অথবা,} \quad \gamma' = \frac{\text{বহিষ্কৃত তরলের ভর}}{\text{উচ্চ উষ্ণতায় বাল্‌ব-ভর্তি তরলের ভর} \times \text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}} \quad (2\text{-}15\ a')$$

2-16. ডুলং ও পেটিটের (Dulong and Petit's) যন্ত্র দ্বারা তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় : এই যন্ত্রে একটি U-নল (*ABCD*) আছে, যাহা পরীক্ষাধীন তরল দ্বারা প্রায় পূর্ণ থাকে [2.16 নং চিত্র]। দুই বাহুকে (*AB* ও *CD*) বেষ্টন করিয়া দুইটি জ্যাকেট (যথাক্রমে J_1 ও J_2) থাকে যাহাদের মধ্যে ঠাণ্ডা জল (J_1-এর মধ্যে) এবং স্টীম (J_2-এর মধ্যে) অনেকক্ষণ অতিক্রম করাইলে যদি গরম ও ঠাণ্ডা বাহুর (যথাক্রমে *CD* ও *AB*) তরলের স্থির দৈর্ঘ্য যথাক্রমে h_2 ও h_1 হয় (অনুভূমিক নল *BC* হইতে) এবং স্থির উষ্ণতা t_2°C ও t_1°C হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক



চিত্র 2.16 : ডুলং ও পেটিটের যন্ত্র

$$\gamma = \frac{h_2-h_1}{h_1t_2-h_2t_1} \quad \cdots \quad (2\text{-}16\ a)$$

[**প্রমাণ** :—U নলের নিম্নতম অংশ BC অনুভূমিক সমতলে থাকায় উহার দুই বিন্দু B ও C-এর উপর চাপ সমান থাকিবে। অতএব, $h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$।

অথবা, $h_1\dfrac{\rho_0}{1+\gamma t_1} = h_2\dfrac{\rho_0}{1+\gamma t_2}$; অথবা, $h_1(1+\gamma t_2) = h_2(1+\gamma t_1)$;

অথবা, $\gamma(h_1 t_2 - h_2 t_1) = h_2 - h_1$; অথবা, $\gamma = \dfrac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}$ ... (2-16a)

এখানে $\rho_0 = \rho_1\ (1+\gamma t_1)$ এবং $\rho_0 = \rho_2\ (1+\gamma t_2)$ লওয়া হইয়াছে [(2-5 a) সমীকরণ দেখ।)]

2-17. গ্যাসের প্রসারণ (Expansion of gases) : নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের অবস্থা উহার আয়তন (V), চাপ (P) এবং উষ্ণতা (T) দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। এই তিনটি রাশির যে-কোন একটিকে স্থির রাখিলে অপর দুইটি রাশির পরিবর্তন যে নিয়মে হইবে তাহা তিনটি সূত্রের মধ্যে নিহিত আছে। এই সূত্রগুলি হইল,— (1) **বয়েলের সূত্র,** যাহা গ্যাসের আয়তন (V) ও চাপের (P) মধ্যে সম্বন্ধ প্রকাশ করে যখন উহার উষ্ণতা (T) স্থির থাকে ; (2) **চার্লসের সূত্র** যাহা গ্যাসের আয়তন (V) এবং উষ্ণতার (T) মধ্যে সম্বন্ধ প্রকাশ করে যখন উহার চাপ (P) স্থির থাকে ; (3) **চাপের সূত্র,** যাহা গ্যাসের চাপ (P) এবং উষ্ণতার (T) মধ্যে সম্বন্ধ প্রকাশ করে যখন উহার আয়তন (V) স্থির থাকে।

2-18. গ্যাসের প্রসারণের সহিত অন্য পদার্থের প্রসারণের পার্থক্য :

(i) গ্যাসের এবং তরলের কোন নির্দিষ্ট আকার নাই, কেবলমাত্র নির্দিষ্ট আয়তন আছে। কাজেই ইহাদের ক্ষেত্রে, কেবল আয়তন প্রসারণই পাওয়া যাইবে। কঠিনের নির্দিষ্ট আকার ও আয়তন থাকায় উহার ক্ষেত্রে, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ, ক্ষেত্রফল-প্রসারণ ও আয়তন-প্রসারণ পাওয়া যায়।

(ii) কঠিনের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহার প্রকৃত প্রসারণ। তরল ও গ্যাসকে একটি পাত্রে রাখিতে হয় ; এজন্য উহাদিগকে গরম করিলে পাত্র এবং পাত্রস্থ পদার্থের প্রসারণ একসঙ্গে হয়। সুতরাং তরল ও গ্যাসের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহাদের আপাত প্রসারণ। গ্যাসের প্রসারণ, তরলের প্রসারণ অপেক্ষা অনেক গুণ বেশী। আবার গ্যাসের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহার পাত্রের তুলনায় এত বেশী যে বাস্তবিক পক্ষে গ্যাসের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা উহার প্রকৃত প্রসারণই হইবে।

(iii) কঠিনের প্রসারণ সর্বাপেক্ষা কম, গ্যাসের প্রসারণ সর্বাপেক্ষা বেশী এবং তরলের প্রসারণ মধ্যমপ্রকার।

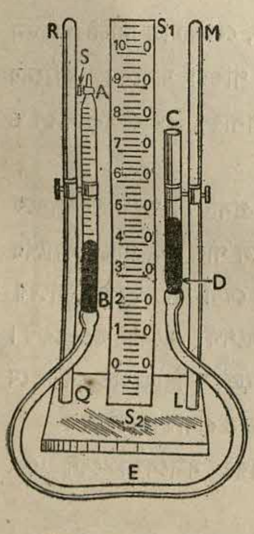
(iv) বিভিন্ন কঠিন ও তরলের প্রসারণ বিভিন্ন হয় কিন্তু সমস্ত গ্যাসের প্রসারণ সমানভাবে হয়।

2-19. বয়েলের সূত্র এবং তাহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Boyle's law and its experimental verification) : সাধারণ পদার্থবিজ্ঞানের 11-7 পরিচ্ছেদে বয়েলের সূত্রের সংক্ষিপ্ত আলোচনা করা হইয়াছে কিন্তু কোন পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেওয়া হয় নাই। এই পরিচ্ছেদে ঐ সূত্রের পুনরুল্লেখ করিয়া উহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ দেওয়া হইবে।

বয়েলের সূত্র : এই সূত্র বিবৃত করে যে, **নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (T) নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন (V) উহার চাপের (P) সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়।** অর্থাৎ, আয়তন $(V) = \text{ধ্রুবক} \times \dfrac{1}{\text{চাপ } (P)}$; অথবা, $PV = \text{ধ্রুবক}$ ।

পরীক্ষার যন্ত্র : এই যন্ত্রে দুইটি কাচের নলের (AB ও CD) নিম্নপ্রান্ত একটি রবারের নল (BED) দ্বারা যুক্ত করিয়া, রবারের নলকে সম্পূর্ণরূপে এবং কাচের নল দুইটিকে আংশিকভাবে শুষ্ক ও বিশুদ্ধ পারদ দ্বারা ভর্তি করা থাকে। AB নলের উপর-প্রান্তে একটি স্টপকক (S) আছে এবং উহার উপর হইতে নীচের দিকে ক্রমোচ্চ মানে সি. সি.-তে দাগ কাটা থাকে [2.17 নং চিত্র]। কাচের নল দুইটিকে দুইটি উল্লম্ব দণ্ড (QR ও LM) বরাবর উঠানো বা নামানো বা স্থির রাখা যায়।

পরীক্ষা পদ্ধতি : (i) AB নলের মধ্যে কিছু শুষ্ক বাতাস ঢুকাইয়া উহার স্টপকক্ (S) বায়ুনিরুদ্ধভাবে বন্ধ করা হইল। CD নলকে এমন অবস্থানে আনা হইল যাহাতে AB ও CD নলের পারদতল এক অনুভূমিক তলে থাকে। AB নলের গায়ের অংশাঙ্কন হইতে উহার মধ্যে আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন (V সি. সি.) পড়িয়া লওয়া হইল। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা H সে. মি. দেখিয়া লইয়া HV-এর মান নির্ণয় করা হইল।



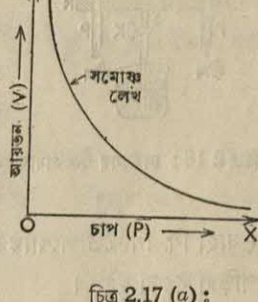
চিত্র 2.17 : বয়েলের যন্ত্র

(ii) AB নলে আবদ্ধ গ্যাসের চাপ, বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশী করিবার জন্য CD নলকে কিছুটা উপরে তোলা হইল যাহাতে উহার পারদতল AB নলের পারদতল অপেক্ষা h_1 সে. মি. উপরে থাকে। দুই নলের পারদতলের উচ্চতার এই পার্থক্য h_1 সে. মি. নল দুইটির মধ্যে স্থাপিত স্কেল ($S_1 S_2$) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। AB নলের মধ্যস্থ গ্যাসের আয়তন V_1 সি. সি. উহার গায়ের অংশাঙ্কন হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। এক্ষণে V_1 সি.সি. গ্যাসের চাপ হইবে $P_1 = (H + h_1)$ সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান। দেখা যাইবে যে, $HV = P_1 V_1$ । CD নলকে আরও

কয়েকবার উপরে তুলিয়া AB নলের মধ্যস্থ গ্যাসের চাপ ও আয়তন পূর্বের ন্যায় নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে, (চাপ × আয়তন) ধ্রুবক হইতেছে। ইহা দ্বারা, বায়ুমণ্ডলের বেশী চাপে বয়েলের সূত্র প্রমাণিত হইল।

(iii) বায়ুমণ্ডলের কম চাপে, বয়েলের সূত্র প্রমাণ করিবার জন্য, CD নলকে এবার নীচে নামানো হইল যতক্ষণ না উহার মধ্যস্থ পারদতল AB নলের পারদতল অপেক্ষা h_2 সে. মি. দ্বারা নীচে থাকে। এক্ষণে AB নলের মধ্যস্থ গ্যাসের চাপ হইবে $P_2=(H-h_2)$ সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান। AB নলের অংশাঙ্কন হইতে গ্যাসের আয়তন V_2 সি.সি. পড়িয়া লওয়া হইল। দেখা গেল যে, $HV=P_1V_1=P_2V_2$। CD নলকে আরও কয়েকবার নীচে নামাইয়া AB নলের মধ্যস্থ গ্যাসের চাপ ও আয়তন নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে প্রত্যেক ক্ষেত্রে (চাপ × আয়তন) ধ্রুবক হইতেছে। ইহা দ্বারা, বায়ুমণ্ডলের কম চাপে বয়েলের সূত্র প্রমাণিত হইল।

সমোষ্ণ লেখচিত্র :—নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের বিভিন্ন চাপ (P), x-অক্ষের দিকে (অর্থাৎ OX-এর দিকে) এবং ঐ চাপের অনুরূপ আয়তন (V) y-অক্ষের দিকে (অর্থাৎ OY-এর দিকে) প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে তাহার প্রকৃতি 2.17 (a) নং চিত্রের অনুরূপ হইবে। এইরূপ লেখচিত্রকে rectangular hyperbola বলে। কিন্তু $PV=$ধ্রুবক, সমীকরণটিও একটি rectangular hyperbola-এর সমীকরণ। কাজেই এই লেখচিত্র দ্বারাও বয়েলের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হয়।



চিত্র 2.17 (a) :

2-20. চার্লসের সূত্র এবং ইহার পরীক্ষামূলক প্রমাণ (Charles' law and its experimental verification) :

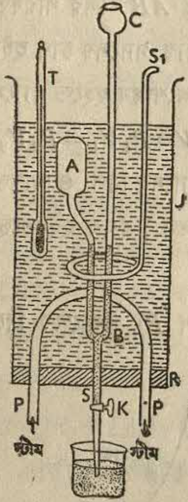
চার্লসের সূত্র :—এই সূত্র বিবৃত করে যে, **কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ (P) স্থির রাখিয়া, উহার 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিলে যে আয়তন-বৃদ্ধি হইবে তাহা ঐ গ্যাসের 0°C উষ্ণতার আয়তনের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ (1/273) হইবে।**

ব্যাখ্যা—নির্দিষ্ট চাপে, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি 0°C ও t°C উষ্ণতায় যথাক্রমে V_o এবং V_t হয়, তাহা হইলে 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ঐ গ্যাসের আয়তন-বৃদ্ধি হইবে $\frac{V_t-V_o}{t}$। চার্লসের সূত্র অনুযায়ী, $\frac{V_t-V_o}{V_o t}=\gamma_p$ (ধ্রুবক সংখ্যা)।

অথবা, $V_t=V_o(1+\gamma_p t)$ ... (2-20 a)

পরীক্ষা দ্বারা জানা গিয়াছে যে, $\gamma_p = \frac{1}{273}$। অতএব, (2-20 a) সমীকরণকে লেখা যায়, $V_t = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$ ... (2-20 a')

পরীক্ষার যন্ত্র :— ইহাতে U-আকৃতির একটি নলকে গাঢ় সালফিউরিক অ্যাসিড দ্বারা, আংশিকভাবে ভর্তি করিয়া উহাকে একটি বড় জারের (J) [যাহার নীচের মুখ রবারের ছিপি (R) দ্বারা বন্ধ থাকে] জলের মধ্যে এমনভাবে রাখা হইল যাহাতে ছোট বাহুর উপরের বাল্‌ব (A) জলের মধ্যে সম্পূর্ণভাবে ডুবিয়া থাকিতে পারে এবং বড় বাহুর উপরের ফানেল (C) জলের বাহিরে থাকিতে পারে। ছোট বাহুর বাল্‌ব (A) এবং নলের কিছু অংশে শুষ্ক বাতাস থাকে [2.18 নং চিত্র]।



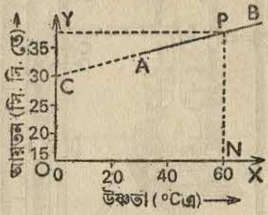
চিত্র 2.18 : চার্লসের সূত্র প্রমাণ করিবার যন্ত্র

পরীক্ষা-পদ্ধতি :— (i) J পাত্রের জলের মধ্যে কিছু বরফ যোগ করিবার কিছুক্ষণ পর যখন থার্মোমিটার (T) জলের স্থির উষ্ণতা 0°C দেখাইল তখন দুই বাহুর অ্যাসিড-তল এক অনুভূমিক তলে আনিতে হইবে [ইহার জন্য হয় ফানেল C-এর মধ্যে কিছু অ্যাসিড ঢালিতে হইবে নতুবা BS নলের স্টপকক্ (K) খুলিয়া কিছু অ্যাসিড অপসারণ করিতে হইবে]। এক্ষণে ছোট বাহুর অংশাঙ্কন হইতে (যাহা সি. সি.-তে অংশাঙ্কিত করা থাকে) 0°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন V_0 সি. সি. পড়িয়া লওয়া হইল।

(ii) এইবার বাঁকানো তামার নলের (P, P) মধ্যে [যাহার খোলা মুখ দুইটি রবারের ছিপির (R) বাহিরে থাকে এবং অবশিষ্ট অংশ জলের মধ্যে থাকে] স্টীম অতিক্রম করাইয়া জারের জলের উষ্ণতা 0°C হইতে 10°C (কিংবা 5°C) করিয়া ধাপে ধাপে বাড়াইয়া অন্ততঃ (5 – 6)টি উচ্চ উষ্ণতায় আনা হইল। প্রত্যেক উষ্ণতায় (t°C) U-নলের দুই বাহুর অ্যাসিড তল এক অনুভূমিক তলে আনিয়া ছোট বাহুতে আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন V_t জানিয়া লওয়া হইল। দেখা গেল যে প্রত্যেক উষ্ণতায় (t°C), $\frac{V_t - V_0}{V_0 t}$ ধ্রুবক হইতেছে এবং এই ধ্রুবকের মান 1/273। ইহা দ্বারা চার্লসের সূত্রের প্রমাণ পাওয়া গেল এবং এই ধ্রুবক সংখ্যাই হইবে গ্যাসের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক (γ_p) যখন উহার চাপ সর্বদা স্থির রাখা হয়।

লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ : যদি একটি ছক-কাগজের x-অক্ষের দিকে (OX) গ্যাসের উষ্ণতা (°C-এ) প্রকাশ করা হয় [যাহার মূলবিন্দুর (O) মান 0°C]

এবং y-অক্ষের দিকে (OY) স্থির চাপের গ্যাসের ঐ উষ্ণতায় আয়তন প্রকাশ করা হয় তাহা হইলে ঐ লেখচিত্র একটি সরলরেখা (AB) হইবে, যাহাকে বর্ধিত করিলে ঐ বর্ধিত সরলরেখা x-অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করিবে তাহার মান হইবে -273°C [2.19নং চিত্র]। অর্থাৎ -273°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন শূন্য হইবে। লেখচিত্র সরলরেখা হওয়ায়, চার্লসের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল।



চিত্র 2.19 : উষ্ণতা-আয়তন লেখ

এই লেখচিত্রের সাহায্যে γ_p-এর মানও নির্ণয় করা যায়। BA সরলরেখাকে বর্ধিত করিলে উহা আয়তন অক্ষকে C বিন্দুতে ছেদ করিবে। অতএব 0°C উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন হইবে $V_o = OC$। ঐ লেখচিত্রের উপর যে কোন P বিন্দু লইয়া উহার ভুজ $= ON = t^\circ$C এবং কোটি $PN = V_t$ নির্ণয় করিয়া V_0, V_t ও t প্রভৃতির মান $\frac{V_t - V_o}{V_o t} = \gamma_p$ সমীকরণে বসাইলে γ_p-এর মান পাওয়া যাইবে এবং দেখা যাইবে যে ঐ মান 1/273 হইতেছে।

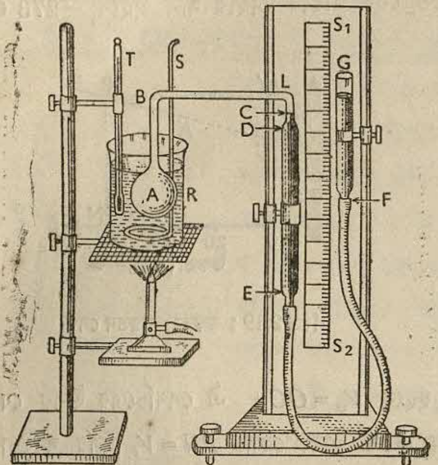
2-21. চাপের সূত্র (Pressure-law) : এই সূত্র বিবৃত করে যে, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন স্থির রাখিয়া উহার 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিলে যে চাপ-বৃদ্ধি হইবে তাহা ঐ গ্যাসের 0°C উষ্ণতার চাপের একটি নির্দিষ্ট ভগ্নাংশ (1/273) হইবে।

ব্যাখ্যা : কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন স্থির রাখিলে, যদি 0°C ও t°C উষ্ণতায় উহার চাপ যথাক্রমে P_o ও P_t হয় তাহা হইলে 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে ঐ গ্যাসের চাপ-বৃদ্ধি হইবে $\frac{P_t - P_o}{t}$। চাপের সূত্র অনুযায়ী, $\frac{P_t - P_o}{P_o t} = \gamma_v$ (ধ্রুবক সংখ্যা)। অথবা, $P_t = P_o(1 + \gamma_v t)$ ... (2-21a)

পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে, $\gamma_v = \frac{1}{273}$। সুতরাং $P_t = P_o\left(1 + \frac{t}{273}\right)$ ...(2-21a')

2-22. চাপের সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ (অথবা কোন গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্ক (γ_v) নির্ণয়) [Verification of pressure law or determination of the pressure-co-efficient γ_v of a gas] : এই যন্ত্রে একটি বড় বাল্‌বের (A) সহিত যুক্ত একটি সরু নলকে (BCD), একটি পারদপূর্ণ U-নলের সহিত যুক্ত করা আছে [2.20নং চিত্র]। U-নলের DE অংশ কাচের

মোটা নল, EF অংশ মোটা রবারের নল এবং FG অংশ কাচের মোটা নল। শুষ্ক গ্যাস ভর্তি বাল্‌বকে (A) এক বীকার (R) জলের মধ্যে ডুবানো থাকে। জলের প্রত্যেক উষ্ণতায় FG নলকে উপরে উঠাইতে হইবে কিংবা নীচে নামাইতে হইবে যতক্ষণ না DE নলের পারদতল C দাগের সহিত মিলিয়া থাকে। ইহা দ্বারা বাল্‌বে আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন সব উষ্ণতায় একই থাকিবে।



চিত্র 2.20ঃ চাপের সূত্র প্রমাণ করিবার যন্ত্র

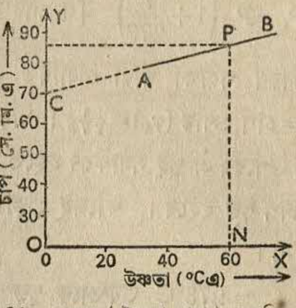
পরীক্ষা ঃ (i) বীকারের (R) জলের মধ্যে কিছু বরফের টুক্‌রা দিয়া ঐ জলকে আলোড়ক (S) দ্বারা আলোড়িত করা হইল যতক্ষণ না থার্মোমিটার (T) স্থির উষ্ণতা 0°C দেখায়। এই অবস্থায় DE নলের পারদতল C দাগে আনিয়া U-নলের দুই বাহুর পারদতলের উচ্চতার পার্থক্য h সে.মি. স্কেল (S_1S_2) হইতে পড়িয়া লওয়া হইল। ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা B সে.মি. হইলে 0°C-এ গ্যাসের চাপ হইবে $P_0 = (B \pm h)$ সে.মি.।

[এখানে h-এর পূর্বে + কিংবা − চিহ্ন বসিবে যদি FG নলের পারদতল যথাক্রমে C দাগের উপরে কিংবা নীচে থাকে]।

(ii) এক্ষণে বীকারের জলের উষ্ণতা ধাপে ধাপে 10°C করিয়া প্রায় (5 − 6) বার বৃদ্ধি করা হইল এবং প্রত্যেক উষ্ণতায় FG বাহুকে উপরে তুলিয়া কিংবা নীচে নামাইয়া DE নলের পারদতল C দাগের সহিত মিলাইয়া U-নলের দুই বাহুর পারদতলের উচ্চতার পার্থক্য ($=h$ সে. মি.) নির্ণয় করিয়া পূর্ববর্ণিত নিয়মে গ্যাসের চাপ নির্ণয় করা হইল। যে কোন উষ্ণতায় (t°C) গ্যাসের চাপ P_t হইলে দেখা যাইবে যে $\frac{P_t - P_0}{P_0 t}$ সব উষ্ণতায় একই হইতেছে। ইহা দ্বারা চাপের সূত্র প্রমাণিত হইল এবং $\frac{P_t - P_0}{P_0 t}$ হইতে যে ধ্রুবক সংখ্যা $\left(\gamma_v = \frac{1}{273}\right)$ পাওয়া যাইবে তাহাই গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্ক হইবে।

লেখচিত্রের সাহায্যে প্রমাণ ঃ যদি একটি ছক কাগজের x-অক্ষের দিকে (OX) গ্যাসের উষ্ণতা (°C-এ) প্রকাশ করা হয় [যাহার মূলবিন্দুর (O) মান 0°C] এবং y-অক্ষের দিকে (OY) স্থির-আয়তন গ্যাসের ঐ উষ্ণতায় চাপ প্রকাশ করা হয়

তাহা হইলে ঐ লেখচিত্র একটি সরলরেখা (AB) হইবে, যাহাকে বর্ধিত করিলে ঐ বর্ধিত সরলরেখা x-অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করিবে তাহার মান হইবে -273°C [2.21 নং চিত্র দেখ]। অর্থাৎ, -273°C-এ গ্যাসের চাপ শূন্য হইবে। লেখচিত্রটি সরলরেখা হওয়ায়, চাপের সূত্রের সত্যতা প্রমাণিত হইল।



চিত্র 2.21 : গ্যাসের (উষ্ণতা-চাপ) লেখচিত্র

এই লেখচিত্রের সাহায্যে γ_v-এর মানও নির্ণয় করা যায়। BA সরলরেখাকে বর্ধিত করিলে উহা y-অক্ষকে (অর্থাৎ, গ্যাসের চাপ-অক্ষকে) C বিন্দুতে ছেদ করিবে। অতএব 0°C উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ হইবে $P_o = OC$। ঐ লেখচিত্রের উপর যে-কোন একটি বিন্দু (P) লইয়া উহার ভুজ $= ON = t^\circ$C এবং কোটি $= PN = P_t$ নির্ণয় করিয়া, P_o, P_t এবং t-এর মান $\dfrac{P_t - P_o}{P_o t}$-এ বসাইলে γ_v-এর মান পাওয়া যাইবে এবং দেখা যাইবে যে ঐ মান $= 1/273$।

2-23. গ্যাসের আয়তন-গুণাঙ্ক (γ_p) ও চাপ-গুণাঙ্কের (γ_v) মধ্যে সম্বন্ধ :

মনে কর নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ, আয়তন ও উষ্ণতা যথাক্রমে,

(i) P_o, V_o এবং 0°C—প্রথম অবস্থায় ... ... (2-23 a)

(ii) P_o, V_t এবং t°C—দ্বিতীয় অবস্থায় ... ... (2-23 b)

(iii) P_t, V_o এবং t°C—তৃতীয় অবস্থায় ... ... (2-23 c)

(2-23a) ও (2-23b) হইতে, $V_t = V_o(1 + \gamma_p t)$ [চার্লসের সূত্র]

(2-23a) ও (2-23c) হইতে, $P_t = P_o(1 + \gamma_v t)$ [চাপের সূত্র]

(2-23b) ও (2-23c) হইতে, $P_o V_t = P_t V_o$ [বয়েলের সূত্র]

অথবা, $P_o V_o (1 + \gamma_p t) = P_o(1 + \gamma_v t) V_o$; অথবা, $\gamma_p = \gamma_v$।

অতএব আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে [যে গ্যাস বয়েলের এবং চার্লসের সূত্র মানিয়া চলে তাহাকে আদর্শ গ্যাস বলে] $\gamma_p = \gamma_v$।

2-24. উষ্ণতার চরম স্কেল (Absolute scale of temperature) : মনে কর কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ আদর্শ গ্যাসের উষ্ণতা যখন 0°C তখন উহার আয়তন এবং চাপ যথাক্রমে V_o এবং P_o। এই গ্যাসের উষ্ণতা t°C-এ তুলিলে যদি স্থির চাপে ($= P_o$) উহার আয়তন V_t হয় এবং স্থির-আয়তনে ($= V_o$) উহার চাপ P_t হয় তাহা হইলে আমরা লিখিতে পারি,

$$V_t = V_o\left(1+\frac{t}{273}\right)$$ [চার্লসের সূত্র অনুযায়ী] ... (2-24 a)

$$P_t = P_o\left(1+\frac{t}{273}\right)$$ [চাপের সূত্র অনুযায়ী] ... (2-24 b)

কারণ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন-গুণাঙ্ক (γ_p) = চাপ গুণাঙ্ক $(\gamma_v) = \frac{1}{273}$। যদি গ্যাসের উষ্ণতা -273°C-এ আনা হয় তাহা হইলে উপরের ঐ দুই সমীকরণ হইতে জানা যায় যে ঐ উষ্ণতায় আদর্শ গ্যাসের আয়তন এবং চাপ শূন্য হইবে। কাজেই প্রকৃতিতে -273°C-এর নীচে কোন উষ্ণতা হইতে পারে না।

এই -273°C উষ্ণতাকে শূন্য ধরিয়া এবং প্রত্যেক ডিগ্রীকে সেন্টিগ্রেড স্কেলের ডিগ্রীর সমান রাখিয়া যদি উষ্ণতার একটি নূতন স্কেল গঠন করা যায় তাহা হইলে সেই স্কেলকে **উষ্ণতার চরম স্কেল** (Absolute scale of temperature) বলে এবং ইহার শূন্যকে, অর্থাৎ -273°C-কে **চরম শূন্য** (Absolute zero) বলে। অতএব কোন উষ্ণতা যদি t°C হয় তাহা হইলে চরম স্কেলে তাহার মান হইবে $(273+t)^\circ = T_t{}^\circ$Aএবং 0°C উষ্ণতার মান চরম স্কেলে হইবে $273^\circ = T_o{}^\circ$A।

2-25. উষ্ণতার চরম স্কেলে, চার্লসের এবং চাপের সূত্রের পরিবর্তিত রূপ ঃ

(i) নির্দিষ্ট চাপে, নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন যদি 0°C এবং t°C উষ্ণতায় যথাক্রমে V_o ও V_t হয় তাহা হইলে চার্লসের সূত্র অনুযায়ী,

$$V_t = V_o\left(1+\frac{t}{273}\right);\ \text{অথবা,}\ \frac{V_t}{V_o} = \frac{273+t}{273} = \frac{T_t}{T_o} \quad \cdots \quad (2\text{-}25a)$$

এখানে t°C উষ্ণতার মান, চরম স্কেলে $(273+t)^\circ = T_t^\circ$ A হইবে এবং 0°C উষ্ণতার মান চরম স্কেলে $273^\circ = T_o$A হইবে। অতএব উষ্ণতা চরম স্কেলে প্রকাশিত হইলে **চার্লসের সূত্রের পরিবর্তিত রূপ** হইবে,—**চাপ (P) স্থির রাখিলে, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন (V) উহার চরম উষ্ণতার (T) সহিত সমানুপাতিক হইবে।** অর্থাৎ, $V \propto T$, যখন চাপ P স্থির থাকিবে।

(ii) নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের আয়তন (V) স্থির রাখিলে যদি 0°C এবং t°C উষ্ণতায় উহার চাপ যথাক্রমে P_o এবং P_t হয় তাহা হইলে চাপের সূত্র হইবে,

$$P_t = P_o\left(1+\frac{t}{273}\right);\ \text{অথবা,}\ \frac{P_t}{P_o} = \frac{273+t}{273} = \frac{T_t}{T_o} \quad \cdots \quad (2\text{-}25b)$$

এখানে t°C উষ্ণতার মান, চরম স্কেলে $(273+t)^\circ = T_t^\circ$A হইবে এবং 0°C উষ্ণতার মান চরম স্কেলে $273^\circ = T_o$A হইবে। অতএব উষ্ণতা চরম স্কেলে প্রকাশিত হইলে **চাপের সূত্রের পরিবর্তিত রূপ** হইবে,—**নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের**

আয়তন (V) স্থির রাখিলে উহার চাপ (P) চরম উষ্ণতার (T) সহিত সমানুপাতিক হইবে। অর্থাৎ, $P \propto T$, যখন V স্থির রাখা হয়।

2-26. আদর্শ-গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ (Equation of state of an ideal gas) ঃ নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের চাপ P, আয়তন V এবং উষ্ণতা T° (চরম স্কেলে) হইলে,

(i) $V \propto T$, যখন চাপ P স্থির থাকে [চার্লসের সূত্র] ... (2-26*a*)

(ii) $V \propto \frac{1}{P}$, যখন উষ্ণতা T স্থির থাকে [বয়েলের সূত্র] ... (2-26*b*)

চার্লসের এবং বয়েলের সূত্রের সমন্বয় করিলে আমরা পাই, $V \propto T/P$, যখন চাপ (P) এবং উষ্ণতা (T) উভয়েই পরিবর্তনশীল। অথবা, $PV = RT$ ... (2-26*c*)

$PV = RT$ সমীকরণকে আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ বলে। এবং R একটি ধ্রুবক যাহাকে **গ্যাস-ধ্রুবক** (gas constant) বলে।

আবার নির্দিষ্ট পরিমাণ (ধরা যাক্ এক গ্রাম-অণু) গ্যাসের ঘনত্ব যদি ρ হয় তাহা হইলে স্থির উষ্ণতায় ঐ ঘনত্ব (ρ), গ্যাসের আয়তনের (V) ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হইবে। অতএব (2-26*c*) সমীকরণের পরিবর্তিত রূপ হইবে $P/\rho T =$ ধ্রুবক ···(2-26*d*)

R-এর মান :—কোন গ্যাসের আণবিক ওজন (molecular weight) যে সংখ্যায় প্রকাশিত হয় তত গ্রাম যদি গ্যাস লওয়া হয় এবং উহার উষ্ণতা 0°C হয় এবং চাপ 76 সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপের সমান হয় তাহা হইলে সেই পরিমাণ সব গ্যাসের আয়তন হইবে 22·4 লিটার এবং সব গ্যাসের ক্ষেত্রে R-এর মান হইবে $R = 8{\cdot}3 \times 10^7$ আর্গ প্রতি চরম স্কেলের ডিগ্রীতে। ইহা নিম্নলিখিতভাবে দেখান যাইতে পারে।

(i) $R = \frac{PV}{T} = \frac{(76 \times 13{\cdot}6 \times 981)(22{\cdot}4 \times 1000)}{273} = 8{\cdot}3 \times 10^7$ আর্গ/°A।

(ii) যদি এক গ্রাম-অণু গ্যাসের চাপ (P) = বায়ুমণ্ডলের চাপ = 1 ধরা হয় এবং উহার আয়তন (V) এবং চরম উষ্ণতা (T) যথাক্রমে 22·4 লিটার ও 273° লওয়া হয় তবে,

$R = \frac{1 \times 22{\cdot}4}{273} = {\cdot}082$ 'লিটার-অ্যাটমস্ফিয়ার' হইবে।

(iii) $R = \frac{8{\cdot}3 \times 10^7}{4{\cdot}2 \times 10^7} = 1{\cdot}981$ ক্যালরি প্রতি ডিগ্রী চরম উষ্ণতায়।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 2]

1. তাপ প্রয়োগে যে কঠিনের প্রসারণ হয় এবং বিভিন্ন কঠিনের প্রসারণও যে বিভিন্ন হয় তাহার পরীক্ষা-মূলক প্রমাণ দাও। বিভিন্ন প্রকার কঠিনের বিভিন্ন পরিমাণ প্রসারণের একটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [Art. 2-1, 2-2, 2-9 (*b*) (iii)]

2. কঠিনের বিভিন্ন প্রকার প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখিয়া উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ নির্ণয় কর। ঐ প্রসারণ-গুণাঙ্কগুলি কি দৈর্ঘ্যের স্কেলের উপর এবং উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভর করে? যুক্তি দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 2-3 ও 2-4]

3. কঠিন এবং তরল পদার্থের ঘনত্ব, উষ্ণতার সহিত কিভাবে পরিবর্তিত হয়? উহাদের ঘনত্ব, উষ্ণতার সহিত যেভাবে পরিবর্তিত হয় তাহা কি একই সূত্র দ্বারা প্রকাশিত হইতে পারে? [Art. 2-5]

4. দণ্ডাকৃতি কোন কঠিনের প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার যে-কোন পদ্ধতির বিবরণ দাও। কঠিনের প্রসারণে কিংবা সংকোচনে যে বলের উদ্ভব হয় তাহার পরিমাণ নির্ণয় কর এবং ইহার একটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর। [Art. 2-6, 2-7 ও 2-8]

5. কঠিনের প্রসারণে কোন কোন ক্ষেত্রে সুবিধা পাওয়া যায় আবার কোন কোন ক্ষেত্রে অসুবিধাও আসে। প্রত্যেক ক্ষেত্রে দুইটি করিয়া দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও। [Art. 2-9]

6. তরলের এবং কঠিনের প্রসারণের মধ্যে কি কি পার্থক্য আছে? উষ্ণতাবৃদ্ধিতে তরলের প্রসারণ দেখাইবার একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Art. 2-10]

7. তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ স্থির কর। তরলের আপাত ও প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করিবে? [Art. 2-11, 2-15, 2-16]

8. উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে সব তরলেরই কি প্রসারণ হয়? কোন্ তরলের ক্ষেত্রে ইহার ব্যতিক্রম দেখা যায়? পরীক্ষা দ্বারা এই ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ কিভাবে দেখাইবে? পারদের এবং জলের উষ্ণতা 0°C হইতে বৃদ্ধি করিতে থাকিলে উহাদের প্রসারণের কোন পার্থক্য দেখা যাইবে কি? [Art, 2-12]

9. জল কোন উষ্ণতায় লঘিষ্ঠ আয়তন ধারণ করে? ইহা হোপের পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে দেখানো যায়? এই পরীক্ষা-লব্ধ ফল দ্বারা কিভাবে ব্যাখ্যা করিবে যে শীতপ্রধান দেশে যখন জলাশয়ের জল জমিয়া বরফ হয় তখনও জলচর প্রাণীর বাঁচিয়া থাকা সম্ভব। [Art. 2-13, 2-14]

10. কোন গ্যাসের অবস্থা কি কি সূত্রের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়? এই সূত্রগুলির উল্লেখ এবং ব্যাখ্যা কর। বিভিন্ন কঠিন এবং তরলের যেমন বিভিন্ন প্রসারণ-গুণাঙ্ক হয়, বিভিন্ন গ্যাসের প্রসারণ-গুণাঙ্কও কি বিভিন্ন হয়? গ্যাসের প্রসারণের সহিত কঠিন এবং তরলের প্রসারণের কি কি পার্থক্য আছে? [Art. 2-17, 2-18, 2-19, 2-21]

11. কোন গ্যাসের আয়তন প্রসারণ-গুণাঙ্ক এবং চাপ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার একটি করিয়া পরীক্ষার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। এই দুই গুণাঙ্কের মান অভিন্ন না ভিন্ন হয়? অঙ্কশাস্ত্রের দ্বারা তোমার মতবাদের প্রমাণ দাও। [Art. 2-20, 2-22, 2-23]

12. উষ্ণতার চরম স্কেল এবং চরম শূন্য বলিতে কি বুঝ? উষ্ণতার এই চরম স্কেল কিভাবে আসে? উষ্ণতার চরম স্কেলের সহিত সেন্টিগ্রেড স্কেলের কি সম্বন্ধ? উষ্ণতা চরম স্কেলে প্রকাশ করিলে চার্লস ও চাপের সূত্র দুইটিকে কিভাবে বলা যাইতে পারে? কোন উষ্ণতার মান চরম শূন্যের নীচে যাইতে পারে কি? [Art. 2-24, 2-25]

13. আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ স্থির কর। গ্যাস-ধ্রুবক বলিতে কি বুঝ? কি পরিমাণ গ্যাস লইলে এই গ্যাস-ধ্রুবকের মান সব গ্যাসের ক্ষেত্রে একই হইবে? গ্যাস-ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। [Art. 2-26]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 2]

A. Multiple Choice type : (1) কঠিন, তরল এবং গ্যাসের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা প্রকৃত না আপাত প্রসারণ ?—কঠিনের প্রসারণ প্রকৃত, তরলের প্রসারণ আপাত-প্রসারণ এবং গ্যাসের প্রসারণ উহার পাত্রের প্রসারণ অপেক্ষা এত বেশী যে উহার প্রসারণ কার্যতঃ প্রকৃত প্রসারণ ; সব পদার্থের (কঠিন, তরল ও গ্যাসের) প্রসারণই প্রকৃত প্রসারণ ; কঠিনের কোন প্রসারণ হয় না এবং তরল ও গ্যাসের যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা আপাত প্রসারণ। (2) জলের উষ্ণতা 0°C হইতে 10°C পর্যন্ত তুলিলে কি হইবে ?—উহার আয়তন ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইবে ; উহার আয়তন ক্রমশঃ কমিয়া 4°C উষ্ণতায় সর্বনিম্ন হইবে এবং 4°C-এর উচ্চ উষ্ণতায় উহার আয়তন বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। (3) শীতপ্রধান দেশে জলাশয়ের জল বরফ হইলে জলচর প্রাণীরা কিভাবে বাঁচিয়া থাকে ?—জলাশয়ের উপরতলে বরফ হইলেও নীচে 4°C উষ্ণতার গরিষ্ঠ ঘনত্বের জল থাকে যাহার মধ্যে জলচর প্রাণীরা চলাফেরা করিয়া বাঁচিয়া থাকে ; জলচর প্রাণীর ব্লাডারের মধ্যে যে বায়ু সঞ্চিত থাকে তাহার অক্সিজেন গ্রহণ করিয়া বাঁচিয়া থাকে। (4) ব্যালান্স-চক্রযুক্ত ঘড়ির সময় সব ঋতুতে এক রাখা হয় কি প্রকারে ?—চক্রের পরিধিতে দ্বিধাতুর পাত রাখা হয় যাহার বাহিরের পাত ভিতরের পাত অপেক্ষা বেশী প্রসারণশীল ; চক্রটি অপ্রসারণীয় ধাতু দ্বারা গঠন করা হয়।

B. Completion Type : (1) তরলকে কোন — রাখিতে হয় বলিয়া উহার যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা — প্রসারণ। (2) কঠিনের প্রসারণে কিংবা সংকোচনে যে — উদ্ভব হয় তাহা দ্বারা — দেওয়ালকে সোজা করা হয়। (3) জলের — প্রসারণের জন্যই জলচর প্রাণীরা শীতপ্রধান দেশের ঠাণ্ডার সময় বাঁচিয়া থাকে। (4) নির্দিষ্ট পরিমাণ যে-কোন গ্যাসের ক্ষেত্রে — গুণাঙ্ক সমান কিন্তু তরলের ক্ষেত্রে —।

C. True or False type : (1) তরলের এবং গ্যাসের ক্ষেত্রে যে প্রসারণ দেখা যায় তাহা কার্যতঃ উহাদের আপাত প্রসারণ। (2) তরলের এবং গ্যাসের প্রসারণের ব্যবহারিক প্রয়োগ দ্বারা থার্মোমিটার প্রস্তুত করা হয়। (3) চাপ প্রয়োগ দ্বারা কঠিনের এবং তরলের আয়তন হ্রাস করা যায় না কিন্তু গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ প্রয়োগে আয়তন কমিয়া যায়। (4) উষ্ণতা বৃদ্ধিতে সব তরলেরই আয়তন বৃদ্ধি হইয়া থাকে, ইহার কোন ব্যতিক্রম দেখা যায় না।

কষা-অঙ্ক (Worked-out-Sums) [অধ্যায় 2]

1. যদি 30°C উষ্ণতায় রেল-লাইন পাতা হয় তাহা হইলে দুইটি 12 মিটার দৈর্ঘ্যের রেল-লাইনের মধ্যে কত ফাঁক রাখা দরকার যাহাতে উহাদের উষ্ণতা 50°C পর্যন্ত তুলিলে উহাদের মধ্যের ফাঁক শূন্য হইবে। লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

উঃ। যদি দুই লাইনের মধ্যের ফাঁক x সে.মি. রাখা হয় তাহা হইলে উহাদের উষ্ণতা 30°C হইতে 50°C পর্যন্ত তুলিলে উহাদের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি হইবে x সে.মি.।

অতএব দৈর্ঘ্য প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা হইতে লেখা যায়,

$12 \times 10^{-6} = \dfrac{x}{12 \times 100 \times 20}$; অথবা, $x = \cdot 288$ সে.মি.।

2. একটি দস্তার দণ্ডকে পিতলের স্কেল দ্বারা মাপিলে দণ্ডের দৈর্ঘ্য এক মিটার পাওয়া যায় যখন উভয়েরই উষ্ণতা 30°C। স্কেলের উষ্ণতা 0°C হইলে উহা দ্বারা

সঠিক মাপ পাওয়া যায়। ঐ দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য কত হইবে যখন স্কেল এবং দণ্ড উভয়েরই উষ্ণতা 0°C আনা হয়? দস্তা এবং পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক যথাক্রমে 27×10^{-6} এবং 19×10^{-6} প্রতি °C-এ।

উঃ। যদি কেবলমাত্র পিতলের স্কেলের উষ্ণতা 0°C-এ আনা হয় তাহা হইলে উহার অনেকগুলি ঘর 30°C-এ রক্ষিত দস্তার দণ্ডের মধ্যে আসিবে। এজন্য দস্তার দৈর্ঘ্য বেশী হইবে। যদি 0°C এবং 30°C উষ্ণতার পিতলের স্কেল, 30°C উষ্ণতায় রক্ষিত দস্তার দণ্ডের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে R_o ও R_{30} (=100 সে.মি.) দেখায় তাহা হইলে,

$$R_o=100(1+19\times10^{-6}\times30)=100{\cdot}057 \text{ সে.মি.। } [\because R_o>R_{30}]$$

এখন যদি দস্তার দণ্ডকে 30°C হইতে 0°C-এ আনা হয় তাহা হইলে উহার সংকোচনজনিত দৈর্ঘ্য কম হইবে। যদি দস্তার দৈর্ঘ্য 0°C উষ্ণতায় l_o হয় তাহা হইলে,

$$l_o=\frac{l_{30}}{(1+27\times10^{-6}\times30)}=\frac{100{\cdot}057}{(1+81\times10^{-5})}=99{\cdot}976 \text{ সে.মি. ।}$$

3. এক খণ্ড কাচের ঘনত্ব 10°C এবং 60°C উষ্ণতায় যথাক্রমে 2·6 গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে এবং 2·5966 গ্রাম/সি.সি.। 10°C এবং 60°C উষ্ণতার মধ্যে কাচের গড় দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে?

উঃ। পদার্থের ঘনত্ব (ρ) এবং উষ্ণতা (t°C) যে সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয় তাহা হইতেছে $\rho_o=\rho_t(1+\gamma t)$। এখানে, $\rho_o=\rho_{10}(1+10\gamma)=\rho_{60}(1+60\gamma)$।

সুতরাং, $\dfrac{\rho_{10}}{\rho_{60}}=\dfrac{1+60\gamma}{1+10\gamma}$; অথবা, $\dfrac{2{\cdot}6}{2{\cdot}5966}=\dfrac{1+60\gamma}{1+10\gamma}$;

অথবা, $\gamma=262\times10^{-7}$ প্রতি °C-এ। অতএব দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক হইবে

$$\alpha=\frac{\gamma}{3}=87{\cdot}3\times10^{-7} \text{ প্রতি °C-এ ।}$$

4. একটি শূন্য ওয়েট থার্মোমিটারের ওজন 40 গ্রাম কিন্তু উহাকে 0°C উষ্ণতার পারদ দ্বারা ভর্তি করিলে উহার ওজন হয় 490 গ্রাম। এক্ষণে ইহাকে 100°C পর্যন্ত গরম করিলে 6·85 গ্রাম পারদ বাহির হইয়া আসে। যদি পারদের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $\gamma=182\times10^{-6}$ হয় তাহা হইলে ওয়েট থার্মোমিটারের কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে?

উঃ। পারদের আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$\gamma'=\frac{\text{বহিষ্কৃত তরল}}{\text{উচ্চ-উষ্ণতায় তরলের ভর}\times\text{উষ্ণতা-বৃদ্ধি}}$$

অথবা, $\gamma'=\dfrac{6{\cdot}85}{(450-6{\cdot}85)\times100}={\cdot}0001545$।

কিন্তু কাচের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$=g=\gamma-\gamma'={\cdot}000182-{\cdot}0001545=0000275 \text{ ।}$$

অতএব কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=g/3={\cdot}0000092$ প্রতি 0°C-এ।

5. একটি কাচের পাত্রের ভিতরের আয়তন 300 সি.সি. হইলে উহার মধ্যে কি আয়তনের পারদ রাখিতে হইবে যাহাতে পারদের উপরিস্থিত পাত্রের আয়তন সব উষ্ণতাতে একই থাকে। কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=9\times10^{-6}$ এবং পারদের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=180\times10^{-6}$।

উঃ। যদি v c.c. পারদ, পাত্রের মধ্যে লইয়া উভয়েরই উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি করা হয় তাহা হইলে পারদের উপরিস্থিত স্থানের আয়তন অপরিবর্তিত থাকিবে যখন,

পারদের আয়তন-প্রসারণ = কাচের আয়তন-প্রসারণ।

সুতরাং $v\times180\times10^{-6}\times t=300\times3\times9\times10^{-6}\times t$; অথবা, $v=55$ c.c.।

6. এক সি. সি. জলের উষ্ণতা যখন 0°C এবং 4°C হয় তখন উহার ওজন যথাক্রমে ·999874 গ্রাম এবং 1 গ্রাম। 0°C এবং 4°C উষ্ণতার মধ্যে জলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

উঃ। আমরা জানি যে, $\rho_o=\rho_t(1+\gamma t)$ [(2-5a) সমীকরণ দেখ]

এখানে, $\rho_o=\cdot999874$, $\rho_t=\rho_4=1$, $t=4$°C, $\gamma=?$

উপরের সমীকরণে এইগুলি বসাইলে আমরা পাই,

$\cdot999874=1(1+4\gamma)$; অথবা, $\gamma=31\cdot5\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

7. পাঁচ লিটার আয়তনের কোন গ্যাসের চাপ স্থির রাখিয়া উহার উষ্ণতা 0°C হইতে 35°C পর্যন্ত উঠাইলে উহার আয়তন বৃদ্ধি হয় 640 সি. সি.। ইহা হইতে সেন্টিগ্রেড স্কেলে চরম শূন্যের মান নির্ণয় কর।

উঃ। গ্যাসের আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=\gamma_p=\dfrac{v_t-v_o}{v_o t}=\dfrac{640}{5000\times35}=\dfrac{1}{273\cdot5}$ প্রতি °C-এ। কিন্তু আমরা জানি, $v_t=v_o(1+\gamma_p t)$; যে উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন v_t শূন্য হইবে সেই উষ্ণতাকে চরমশূন্য বলে। অতএব, $t=-(1/\gamma_p)$°C ; অথবা, চরমশূন্যের মান সেন্টিগ্রেড স্কেলে $=t$°C $=-273\cdot5$°C।

8. বাতাসপূর্ণ কোন কাচ-পাত্রের উষ্ণতা 60°C। এই পাত্রের মধ্যস্থ বাতাসের আয়তনের এক-তৃতীয়াংশ বাহির করিয়া দিতে হইলে উহার কত উষ্ণতা-বৃদ্ধির প্রয়োজন হইবে, যখন বাতাসের চাপ বরাবর একই থাকে ?

উঃ। যদি কাচ-পাত্রের আয়তন 60°C উষ্ণতায় v হয় তাহা হইলে $2v/3$ আয়তনের গ্যাসকে পাত্রের মধ্যে রাখিয়া $v/3$ আয়তনের গ্যাসকে বাহিরে আনিতে হইবে। অতএব গ্যাসের উষ্ণতা t°C করিতে হইবে যাহাতে 60°C উষ্ণতার $2v/3$ আয়তনের গ্যাস এক্ষণে v আয়তন ধারণ করে। সুতরাং $\dfrac{p(2v/3)}{273+60}=\dfrac{pv}{273+t}$;

অথবা, $t=226\cdot5$°C। অতএব পাত্রের উষ্ণতা-বৃদ্ধি হইবে $226\cdot5-60=166\cdot5$°C।

9. স্বাভাবিক চাপে এবং উষ্ণতায় এক লিটার অক্সিজেনের ওজন 1·429 গ্রাম 2·5 লিটার একটি পাত্রের মধ্যে অক্সিজেন গ্যাসকে 780 মি. মি. চাপে এবং 27°C উষ্ণতায় আবদ্ধ করা আছে। উহার ভর কত হইবে?

উঃ। মনে কর পাত্রের মধ্যস্থ 2·5 লিটার অক্সিজেনের আয়তন v হইবে, যখন উহার চাপ 760 মি. মি.-এ এবং উষ্ণতা 0°C-এ আসিবে। গ্যাসের সূত্রগুলি হইতে আমরা জানি,

$$\frac{p_1v_1}{T_1}=\frac{p_2v_2}{T_2}; \text{ অথবা, } \frac{780\times2{\cdot}5}{273+27}=\frac{760\times v}{273}, \text{ অথবা, } v=2{\cdot}335 \text{ লিটার।}$$

অতএব পাত্রের মধ্যস্থ অক্সিজেনের ভর $=2{\cdot}335\times1{\cdot}429=3{\cdot}337$ গ্রাম।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 2]

1. একটি গ্রীড্-আয়রণ পেণ্ডুলামে 5-টি লৌহদণ্ড এবং 4-টি পিতল দণ্ড আছে। প্রত্যেক পিতল দণ্ডের দৈর্ঘ্য 50 সে. মি. হইলে প্রত্যেক লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য কত হইবে? পিতল এবং লোহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক যথাক্রমে, 19×10^{-6} এবং 12×10^{-6} প্রতি °C-এ।

সংকেত : [লৌহদণ্ডগুলির প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য l সে. মি. হইলে কার্যকরী দৈর্ঘ্য হইবে $3l$ সে. মি. 4-টি পিতল দণ্ডের কার্যকরী দৈর্ঘ্য হইবে 2×50 সে. মি.। অতএব $3l\times12\times10^{-6}=100\times18\times10^{-6}$; অথবা, $l=50$ সে. মি.।]

2. 100 সে. মি. ব্যাসার্ধের একটি গোলকের উষ্ণতা 0°C হইতে 100°C পর্যন্ত তুলিলে ঐ ব্যাসার্ধের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি 1 সে. মি. হয়। গোলকের পদার্থের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর।

[*Ans.* 3×10^{-4} প্রতি °C-এ]

3. কোন দস্তার দণ্ডের উষ্ণতা 15°C হইতে 100°C বৃদ্ধি করিলে যদি উহার দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি 5 সে. মি. হয় তাহা হইলে 15°C উষ্ণতায় দণ্ডটির দৈর্ঘ্য কত ছিল? দস্তার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $=29\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

[*Ans.* 202·9 সে. মি.]

4. একটি পিতলের স্কেল সঠিক দৈর্ঘ্য দেখাইবে যখন উহার উষ্ণতা 20°C-এ থাকে। স্কেলের উষ্ণতা যখন 50°C তখন উহা কোন দণ্ডের দৈর্ঘ্য 50 সে. মি. দেখায়। দণ্ডটির প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত হইবে? পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=18\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ। (H. S. 1965) [*Ans.* 50·0225 সে. মি.]

5. একটি পেণ্ডুলামযুক্ত ঘড়ি গরমের সময় (উষ্ণতা 35°C) দিনে 2 সেকেণ্ড করিয়া স্লো যায় আবার শীতকালে (উষ্ণতা 10°C) দিনে 2 সেকেণ্ড করিয়া ফাষ্ট যায়। পেণ্ডুলামের ধাতব পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [*Ans.* $3{\cdot}704\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ]

সংকেত : [গরমের এবং শীতের সময়ে যদি ঘড়ির স্পন্দনকাল (দোলনকালের অর্ধেক সময়কে স্পন্দনকাল বলে)। যদি t_s ও t_w হয় তাহা হইলে,

$$\frac{t_s}{t_w}=\sqrt{\frac{l_s}{l_w}}=\sqrt{\frac{l_0(1+35\alpha)}{l_0(1+10\alpha)}}; \text{ অথবা, } \frac{86400}{86398}\cdot\frac{86400}{86402}=\sqrt{\frac{1+35\alpha}{1+10\alpha}};$$

$$\text{অথবা, } \frac{86402}{86398}=(1+25\alpha)^{\frac{1}{2}}; \text{ অথবা, } 1+\frac{4}{86398}=1+\tfrac{1}{2}25\alpha; \text{ অথবা, } \frac{4}{86398}=\frac{25\alpha}{2};$$

অথবা, $\alpha=3{\cdot}704\times10^{-6}$ প্রতি °C-এ]

6. 20°C উষ্ণতায় একটি কাচ-পাত্রের আয়তন এক লিটার। দেখাও যে উহার উষ্ণতা 40°C করিলে উহার আয়তন-বৃদ্ধি হইবে ·51 মিলি-লিটার। কাচের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 8{\cdot}5 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

7. একটি ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ। উহার উষ্ণতা 10°C বৃদ্ধি হইলে উহার উপর কত চাপ প্রয়োগ করিতে হইবে যাহাতে উহার দৈর্ঘ্য অপরিবর্তিত থাকে। দণ্ডের ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{12}$ ডাইন/বর্গ সে. মি.। [(2-7a) সমীকরণ প্রয়োগ করিতে হইবে]

[*Ans.* $2{\cdot}4 \times 10^{8}$ ডাইন/বর্গ সে. মি.]

8. একটি ওয়েট থার্মোমিটারের মধ্যস্থ তরলের ওজন 82 গ্রাম যখন উহার উষ্ণতা 10°C এবং 80 গ্রাম যখন উহার উষ্ণতা 85°C। থার্মোমিটারের পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক 9×10^{-6} হইলে তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে? [*Ans.* 0·00036 প্রতি °C-এ]

9. একটি ওয়েট থার্মোমিটারের উষ্ণতা যখন 15°C তখন উহার মধ্যে 510 গ্রাম পারদ থাকে। ঐ থার্মোমিটারকে কোন উষ্ণ তেলের মধ্যে রাখিলে উহার মধ্যে মাত্র 500 গ্রাম পারদ থাকে। তেলের উষ্ণতা কত ছিল? পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 180 \times 10^{-6}$ এবং থার্মোমিটারের পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 10^{-5}$ প্রতি °C-এ। [*Ans.* 148·3°C]

10. একটি পারদ থার্মোমিটারকে ফুটন্ত জলের মধ্যে সম্পূর্ণরূপে ডুবাইলে উহার পাঠ 100°C হয়। কিন্তু উহার 0°C দাগ হইতে 100°C দাগ পর্যন্ত ফুটন্ত জলের বাহিরে রাখিলে উহার পাঠ পাওয়া যায় 98·6°C। যদি বাহিরের গড় উষ্ণতা 10°C হয় তাহা হইলে পারদের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে? [*Ans.* $157{\cdot}8 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ]

11. একটি U-নলে তরল লইয়া উহার এক বাহুর উষ্ণতা 0°C-এ রাখা হইল যাহাতে তরলের দৈর্ঘ্য 60 সে. মি.। U-নলের অপর বাহুর উষ্ণতা 100°C-এ রাখা হইল এবং ইহার তরলের দৈর্ঘ্য 61·8 সে. মি.। তরলের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক কত হইবে? [*Ans.* 0·0003 প্রতি °C-এ]

12. পারদের ঘনত্ব 0°C উষ্ণতায় $=$ 13·6 গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে। উহার উষ্ণতা কত হইলে ঘনত্ব 12·9 গ্রাম/সি. সি. হইবে? পারদের প্রকৃত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 182 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ।

[*Ans.* 298·2°C]

13. একটি সমব্যাসের নলযুক্ত বাল্ব যখন শূন্য থাকে তখন উহার ওজন 10 গ্রাম। উহার কেবলমাত্র বাল্বকে পারদ দ্বারা ভর্তি করিলে উহাদের ওজন হয় 117·3 গ্রাম। সম্পূর্ণ বাল্ব এবং নলের 10·4 সে.মি. দৈর্ঘ্য পারদ দ্বারা ভর্তি করিলে উহাদের মোট ওজন হইবে 119·7 গ্রাম। এক্ষণে উহাদের উষ্ণতা 0°C হইতে 28°C পর্যন্ত উঠাইলে নলে পারদের দৈর্ঘ্য 12·9 সে. মি. হয়। পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম/সি. সি. হইলে পারদের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [*Ans.* $18{\cdot}78 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ]

সংকেত : [বাল্বের আয়তন $= V = \dfrac{117{\cdot}3 - 10}{13{\cdot}6} = 7{\cdot}891$ সি. সি.। নলের 1 সে. মি. দৈর্ঘ্যের আয়তন $= v = \dfrac{119{\cdot}7 - 117{\cdot}3}{10{\cdot}4 \times 13{\cdot}6} = {\cdot}01697$ সি. সি.। 28°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তরলের আয়তন-প্রসারণ $= (12{\cdot}9 - 10{\cdot}4)v = 2{\cdot}5 \times {\cdot}01697 = {\cdot}04242$ সি. সি.। তরলের আপাত-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= \gamma'$ $= \dfrac{{\cdot}04242}{(7{\cdot}891 + 10{\cdot}4 \times {\cdot}01697) \times 28}$ অথবা, $\gamma' = {\cdot}0001878$ প্রতি °C-এ]

14. একটি থার্মোমিটারের বাল্বে ·45 সি. সি. পারদ আছে। উহার নলের প্রস্থচ্ছেদ কত হইবে যাহাতে সন্নিহিত দুইটি ডিগ্রীর ব্যবধান 2 মি. মি. হইতে পারে? পারদের আপাত আয়তন-প্রসারণ গুণাঙ্ক $= 155 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-এ। [*Ans.* 0·0349 বর্গ মি. মি.]

15. এক বায়ুমণ্ডলের চাপে এবং 0°C উষ্ণতায় এক লিটার বাতাসের ওজন 1·2 গ্রাম। 75 সি. সি. আয়তনের মধ্যে এবং −18°C উষ্ণতায় কত গ্রাম বাতাস রাখিতে হইবে যাহাতে উহার চাপ তিন বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান হয়? [*Ans.* 0·2892 গ্রাম]

16. একটি ঘরের পরিমাপ হইতেছে (50×30×25) ঘনফুট। ঘরের উষ্ণতা 20°C হইতে 25°C বৃদ্ধি করিলে ঘরের পূর্বতন বাতাসের আয়তনের শতকরা কত অংশ বাহিরে চলিয়া যাইবে? [*Ans.* 1·67%]

17. বাতাস ভর্তি একটি ফ্লাস্কের মুখ ছিপি দ্বারা বন্ধ করা হইল যখন উহার উষ্ণতা 20°C। এই ফ্লাস্ককে উত্তপ্ত তেলের মধ্যে রাখিয়া গরম করিতে থাকিলে কত উষ্ণতায় উহার ছিপি সশব্দে বাহিরে আসিবে, যদি ছিপি বায়ুমণ্ডলের দ্বিগুণ চাপের বেশী সহ্য করিতে না পারে? [*Ans.* 313°C]

18. একটি বেলুনের ভিতরের আয়তন 1000 ঘনফুটের বেশী হইলেই উহা ফাটিয়া যাইবে। ঐ বেলুনের মধ্যে 900 ঘনফুটের কোন হালকা গ্যাসকে 29 ইঞ্চি পারদস্তম্ভের চাপে এবং 41°F উষ্ণতায় ঢুকানো হইল। ঐ বেলুন এখন এমন উচ্চতায় আসিল যেখানে বায়ুচাপ 27 ইঞ্চি পারদস্তম্ভের সমান এবং সূর্যকিরণে বেলুনের উষ্ণতা 68°F হইল। বেলুন ফাটিয়া যাইবে কি? [*Ans.* হ্যাঁ]

সংকেত: [41°F ≡ 5°C এবং 68°F ≡ 20°C। কাজেই গ্যাসের সূত্রগুলি হইতে আমরা পাই $\frac{p_1v_1}{T_1}=\frac{p_2v_2}{T_2}$, অথবা, $\frac{29\times 900}{278}=\frac{27\times v_2}{293}$; অতএব $v_2=\frac{29\times 900\times 293}{278\times 27}=1019$ ঘনফুট। কাজেই বেলুন ফাটিয়া যাইবে।]

19. 10°C উষ্ণতা ও 75 সে. মি. চাপের বাতাসের ঘনত্বের সহিত, 15°C উষ্ণতার ও 76 সে. মি. চাপের বাতাসের ঘনত্বের তুলনা কর। [*Ans.* 1·0043]

20. 10°C উষ্ণতার কোন বাতাসকে এমন উষ্ণতায় আনা হইল যাহাতে চাপ এবং আয়তন উভয়েরই পরিমাণ দ্বিগুণ হয়। এই উষ্ণতা কত হইবে? [*Ans.* 859°C]

অধ্যায় 3

ক্যালরিমিতি
(Calorimetry)

3-1. ক্যালরিমিতি ঃ কোন বস্তুর উষ্ণতা এবং তাপ, উভয়ই পরিমাপ-যোগ্য রাশি। বস্তুর উষ্ণতার মান সোজাসুজি থার্মোমিটার দ্বারা পাওয়া যায় কিন্তু উহার মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ সোজাসুজি থার্মোমিটার দ্বারা পাওয়া যায় না। তাপ মাপিবার জন্য কতকগুলি বিশিষ্ট পদ্ধতি আছে যাহারা **ক্যালরিমিতির** অন্তর্ভূক্ত। তাপের বিভিন্ন এককের মধ্যে একটির নাম ক্যালরি। সেইজন্য তাপ মাপিবার পদ্ধতি সমূহের নাম দেওয়া হইয়াছে ক্যালরিমিতি। তাপ মাপিবার সব পদ্ধতিতেই একটি গরম বস্তুকে একটি শীতল বস্তুর সংস্পর্শে আনা হয়। ইহার ফলে দুই বস্তুর মধ্যে যে তাপের আদান-প্রদান হয় তাহা কেবলমাত্র বস্তু দুইটির উষ্ণতার পার্থক্যের উপর নির্ভর করে, উহাদের মধ্যস্থ তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না। তাপ মাপিবার দুইটি প্রধান পদ্ধতি আছে। একটি পদ্ধতিতে দুইটি সংস্পৃষ্ট বস্তুরই উষ্ণতার পরিবর্তন হইয়া থাকে। এই পদ্ধতিকে **উষ্ণতা-জ্ঞাপক ক্যালরিমিতি** (thermometric calorimetry) বলে। অপর পদ্ধতিতে একটি বস্তুর কেবলমাত্র অবস্থার পরিবর্তন হয়, কোন উষ্ণতার পরিবর্তন হয় না। এই পদ্ধতিকে **লীনতাপ ক্যালরিমিতি** (latent heat calorimetry) বলে [ইহা পরের অধ্যায়ে আলোচিত হইয়াছে]। তাপের পরিমাপ পদ্ধতি সম্পন্ন করিতে একটি পাতলা তামার পাত্রের সাহায্যে লওয়া হয় যাহাকে **ক্যালরিমিটার** বলে [3.1 নং চিত্রের C চিহ্নিত পাত্র]।

3-2. ক্যালরিমিতি সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা (Definitions of some terms connected with Calorimetry) ঃ

(a) **তাপের একক ঃ**—(1) **সি. জি. এস. পদ্ধতিতে,** তাপের এককের নাম '**ক্যালরি**'। এক গ্রাম জলকে 14·5°C হইতে 15·5°C পর্যন্ত উষ্ণ করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহাকে **ক্যালরি** বলে [ইহাকে 15°C ক্যালরি বলে]।

(2) **এফ. পি. এস. পদ্ধতিতে,** তাপের এককের নাম '**ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক**' (B. Th. U.) বলে। এক পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে যে পরিমাণ তাপ লাগে তাহাকে **ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক** বলে।

(3) **পারস্পরিক সম্বন্ধ**—ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক (B. Th. U.) $= 453{\cdot}6 \times \frac{5}{9} =$ 252 ক্যালরি। অতএব, ক্যালরি অপেক্ষা B. Th. U. বড় একক।

(b) **আপেক্ষিক তাপ** (specific heat) :—আপেক্ষিক তাপের দুইটি সংজ্ঞা প্রচলিত আছে।

(1) **প্রথম সংজ্ঞা** :—একক ভরের কোন পদার্থের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে তাহাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে**—এক গ্রাম পদার্থের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে তাহাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। ইহার এককের নাম **'ক্যালরি প্রতি গ্রামে প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে'**। যথা,—সীসার আপেক্ষিক তাপ ·03 বলিতে আমরা বুঝি যে এক গ্রাম সীসার 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে ·03 ক্যালরি তাপ লাগিবে।

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে**—এক পাউণ্ড পদার্থের উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে। ইহার এককের নাম **'ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক প্রতি পাউণ্ডে প্রতি ডিগ্রী ফারেন-হাইটে'**। যথা,—তামার আপেক্ষিক তাপ ·09 বলিতে আমরা বুঝি যে এক পাউণ্ড তামার উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে ·09 ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক তাপ লাগিবে।

(iii) **দুই পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের সম্বন্ধ**—এক গ্রাম পদার্থের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যদি s ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় তাহা হইলে এক পাউণ্ড পদার্থের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হইবে তাহার পরিমাণ হইবে, $s' = s \times 453{\cdot}6 \times \frac{5}{9} = s \times 252$ ক্যালরি। কিন্তু 252 ক্যালরি = এক ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক। অতএব এক পাউণ্ড পদার্থের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যত সংখ্যক ব্রিটিশ থার্ম্যাল এককের প্রয়োজন হইবে সেই সংখ্যা $= s' = (s \times 252)/252 = s$ ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক। অতএব **দুই পদ্ধতিতেই, আপেক্ষিক তাপের সংখ্যার মান সমান হইবে।**

(2) **দ্বিতীয় সংজ্ঞা** :—এই সংজ্ঞা অনুযায়ী আপেক্ষিক তাপ দুইটি তাপের অনুপাত মাত্র যাহার বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

$$\text{আপেক্ষিক তাপ } (s) = \frac{\text{নির্দিষ্ট ভরের পদার্থের উষ্ণতা } t^\circ\text{C বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে}}{\text{সম ভরের জলের উষ্ণতা } t^\circ\text{C বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে}}$$

এখানে আপেক্ষিক তাপ দুইটি তাপের অনুপাত হওয়ায় উহা একটি সংখ্যামাত্র, যাহার কোন একক নাই। এই সংখ্যা দুই পদ্ধতিতে একই হইবে। যদি বলা যায় যে পারদের আপেক্ষিক তাপ $\frac{1}{30}$, তাহা হইলে সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. এই উভয়বিধ পদ্ধতিতেই পারদের আপেক্ষিক তাপের সংখ্যা $\frac{1}{30}$ হইবে। ইহা দ্বারা আরও বোঝা যায় যে জলের আপেক্ষিক তাপ পারদের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা 30 গুণ বেশী। অর্থাৎ, এক গ্রাম পারদের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যদি s ক্যালরি তাপ লাগে, তাহা

হইলে এক গ্রাম জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে $30s$ ক্যালরি তাপ লাগিবে, যাহা ক্যালরির সংজ্ঞা অনুযায়ী, এক ক্যালরির সমান। অতএব $30s=1$; অথবা, $s=\frac{1}{30}$।

(c) **বস্তুর তাপ-ধারকত্ব বা তাপ-গ্রাহীতা** (Thermal capacity of a body) :—কোন বস্তুর উষ্ণতা এক ডিগ্রী বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হইবে তাহাকেই বস্তুর **তাপ-ধারকত্ব বা তাপ গ্রাহীতা** বলে। যদি বস্তুর ভর m হয় এবং উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে বস্তুটির তাপগ্রাহীতা হইবে $C=ms$ তাপ-একক।

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে**—কোন বস্তুর উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে তাহাই ঐ বস্তুর তাপ গ্রাহীতা হইবে। যদি বস্তুর ভর m গ্রাম হয় এবং উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে বস্তুর তাপগ্রাহীতা হইবে $C=ms$ ক্যালরি।

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে**—কোন বস্তুর উষ্ণতা 1°F বৃদ্ধি করিতে যত ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক তাপের প্রয়োজন হইবে তাহাই ঐ বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা হইবে। যদি বস্তুর ভর m পাউণ্ড হয় এবং উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে ঐ বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা হইবে $C=ms$ বৃ. থা. এ.।

বস্তুর তাপ-গ্রাহীতার পরিমাণ $C=ms$ হইতে দেখা যায় যে, যখন $m=1$ তখন $C=s$। অতএব **কোন বস্তুর একক ভরের তাপ-গ্রাহীতাকে ঐ বস্তুর পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে** যাহা আপেক্ষিক তাপের একটি বিকল্প সংজ্ঞা।

(d) **বস্তুর জলসম** (Water-equivalent of a body) :—কোন বস্তুর উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করিতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহা দ্বারা যে পরিমাণ জলের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করা যায় সেই পরিমাণ জলকে বস্তুর **জলসম** বলে।

যদি বস্তুটির ভর m হয় এবং উহার পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে বস্তুটির উষ্ণতা 1° বাড়াইবার প্রয়োজনীয় তাপ $=ms$ একক তাপ। আবার ms একক তাপের দ্বারা ms একক ভরের জলের উষ্ণতা 1° বৃদ্ধি করা যায়। অতএব বস্তুটির জলসম হইবে, $W=ms$ একক ভরের জল।

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে**—এই পদ্ধতিতে ভরের এককের নাম গ্রাম। কাজেই m গ্রাম কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ s হইলে ঐ বস্তুর জলসম হইবে, $W=ms$ গ্রাম জল।

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে**—এই পদ্ধতিতে ভরের এককের নাম পাউণ্ড। কাজেই m পাউণ্ড কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপ s হইলে ঐ বস্তুর জলসম হইবে $W=ms$ পাউণ্ড জল।

(e) **বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা এবং জলসমের মধ্যে পার্থক্য** :—**সি. জি. এস্.**

পদ্ধতিতে—(i) কোন বস্তুর ভর m গ্রাম এবং আপেক্ষিক তাপ s ক্যালরি প্রতি গ্রামে প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে হইলে বস্তুর উষ্ণতা $1°C$ বৃদ্ধি করিতে ms ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে যাহাকে বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা ($C=ms$ ক্যালরি) বলে। আবার ms ক্যালরি তাপ, ms গ্রামের জলের উষ্ণতা $1°C$ বৃদ্ধি করিতে পারে। কাজেই ঐ বস্তুর জলসম হইবে ms গ্রাম। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে যে, কোন বস্তুর ভর এবং আপেক্ষিক তাপের যে গুণফল পাওয়া যাইবে তাহাকে ক্যালরিতে প্রকাশ করিলে বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা হইবে এবং ঐ গুণফলকে গ্রামে প্রকাশ করিলে বস্তুর জলসম হইবে।

(ii) কোন বস্তুর তাপ-গ্রাহীতা এবং জলসম একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয় কিন্তু তাপ-গ্রাহীতা ক্যালরিতে এবং জলসম গ্রামে প্রকাশিত হইবে। যথা,—50 গ্রাম তামার (যাহার আপেক্ষিক তাপ ·1) তাপ-গ্রাহীতা হইবে $C=50\times{\cdot}1=5$ ক্যালরি এবং জলসম হইবে $W=50\times{\cdot}1=5$ গ্রাম।

3-3. ক্যালরিমিতির নীতি (Principle of Calorimetry) :

সর্বপ্রকার তাপ (ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপ কিংবা লীনতাপ) মাপিবার পদ্ধতিই ক্যালরিমিতির অন্তর্ভূত। তাপ মাপিবার বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি যে নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত তাহা প্রকৃত-পক্ষে তাপের সংরক্ষণ সূত্র, যাহা শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের অন্যতম রূপ। যখন একটি উষ্ণ বস্তু অপর একটি শীতল বস্তুর সংস্পর্শে আসে তখন উহাদের মধ্যে তাপের আদান-প্রদান হয়। তাপের এই আদান-প্রদান ততক্ষণই চলে যতক্ষণ না দুই বস্তুর উষ্ণতার মান এক হয়। এই তাপ আদান-প্রদানের সময় বস্তু দুইটি যদি অন্য কোনও উৎস হইতে তাপ গ্রহণ না করে কিংবা অন্য কোনও সংস্থাতে তাপ বর্জন না করে তাহা হইলে তাপের এই আদান-প্রদান তাপের সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ীই হইয়া থাকে। অর্থাৎ উপরোক্ত শর্তসাপেক্ষে,

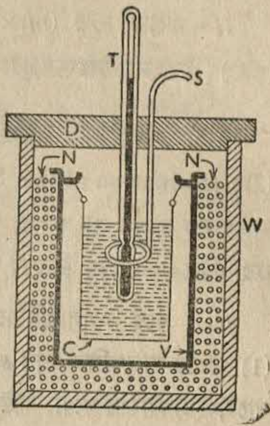
উষ্ণ বস্তুর দ্বারা বর্জিত তাপ=শীতল বস্তুর দ্বারা গৃহীত তাপ। ইহাই ক্যালরিমিতির মূল নীতি। পরীক্ষার সময় এই নীতি যথাসম্ভব কার্যকরী করিবার জন্য কতকগুলি শর্ত পালন করার প্রয়োজন যাহাদের আলোচনা নিম্নে দেওয়া হইল।

ক্যালরিমিতির নীতি পালনের শর্ত :—(1) উষ্ণ বস্তুকে যখন শীতল বস্তুর সংস্পর্শে আনা হয় তখন ঐ কার্য **খুব দ্রুত** সম্পন্ন করার প্রয়োজন যাহাতে এই অল্প সময়ের মধ্যে উষ্ণ বস্তু হইতে পারিপার্শ্বিক বস্তুতে সঞ্চালিত তাপের পরিমাণ যথাসম্ভব কম হয়।

(2) যখন দুই বস্তুর তাপমাত্রার পার্থক্য থাকে তখন পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণ পদ্ধতির দ্বারা তাপ উষ্ণ বস্তু হইতে শীতল বস্তুতে সঞ্চালিত হয়। ক্যালরিমিতির নীতি পালিত হইতে হইলে এই তিন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন যথাসম্ভব কম করিতে হইবে। নিম্নলিখিত উপায়গুলি অবলম্বন করিয়া এইরূপ তাপ সঞ্চালন কম করা হয়।

(i) বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটারকে (C) একটি তামার পাত্রের (V) মধ্যে সুতা দ্বারা ঝুলাইয়া রাখা হয় এবং ক্যালরিমিটারের বাহিরতল এবং তামার পাত্রের (V) ভিতরতল পালিশ করিয়া রাখা হয় [3.1 নং চিত্র দেখ]।

(ii) পরিবহণ পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটারকে (C) তামার পাত্রের (V) মধ্যে ঝুলাইয়া রাখা ছাড়াও উহাদিগকে একটি কাঠের বাক্সের (W) মধ্যে রাখা হয় এবং বাক্স ও তামার পাত্রের মধ্যবর্তী স্থান তুলা, ফেল্ট প্রভৃতি কুপরিবাহী পদার্থ (N) দ্বারা ভর্তি করিয়া রাখা হয়। [3.1 নং চিত্র]।



চিত্র 3.1 : ক্যালরিমিটার

(iii) পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন কমাইবার জন্য কাঠের বাক্সের (W) মুখ একটি কাঠের ঢাক্না (D) দ্বারা বন্ধ করা হয় যাহাতে বায়ু চলাচল না করিতে পারে।

(3) ক্যালরিমিটারের তরলে যদি কোন তাপ উৎপন্ন না হয় কিংবা ঐ তরল হইতে কোন তাপ শোষিত না হয় তাহা হইলে ক্যালরিমিতির নীতি প্রযোজ্য হইবে। যে যে অবস্থায় এই শর্ত দুইটি পালিত হয় তাহা নিম্নরূপ।

(i) যদি ক্যালরিমিটারের তরল এবং উহার সহিত মিশ্রিত বস্তুটির মধ্যে কোনরূপ রাসায়নিক ক্রিয়া না হয় তাহা হইলে ক্যালরিমিটারের তরলে কোন তাপ উৎপন্ন হইবে না। কাজেই পরীক্ষার সময় দেখিতে হইবে যেন এইরূপ কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া না হয়।

(ii) অনেক সময়ে ক্যালরিমিটারের সহিত মিশ্রিত বস্তুটি, ক্যালরিমিটারের তরলে দ্রবীভূত হইয়া উহা হইতে তাপ শোষণ করে। এরূপ ক্ষেত্রে ক্যালরিমিতির নীতি প্রযোজ্য হইবে না। অতএব, পরীক্ষার সময় দেখিতে হইবে যে ক্যালরিমিটারের তরলের সহিত মিশ্রিত বস্তুটি যেন ঐ তরলে অদ্রাব্য হয়।

3-4. বস্তুর উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে উহার তাপের পরিমাণের হ্রাস-বৃদ্ধি (Loss or gain of heat of a body due to its fall or rise of temperature) : যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে আপেক্ষিক তাপের প্রথম সংজ্ঞা অনুযায়ী আমরা বলিতে পারি যে এক গ্রাম ভরের পদার্থ তাহার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করিতে (কিংবা হ্রাস করিতে) s ক্যালরি তাপ গ্রহণ করিবে (কিংবা বর্জন করিবে)। অতএব m গ্রাম ভরের পদার্থের উষ্ণতা θ°C বৃদ্ধি করিলে (কিংবা হ্রাস করিলে) উহা দ্বারা গৃহীত

তাপের (কিংবা বর্জিত তাপের) পরিমাণ হইবে, $H = ms\,\theta$ ক্যালরি। অতএব কোন বস্তুর দ্বারা গৃহীত (বা বর্জিত) তাপের পরিমাণ ক্যালরিতে হইবে,

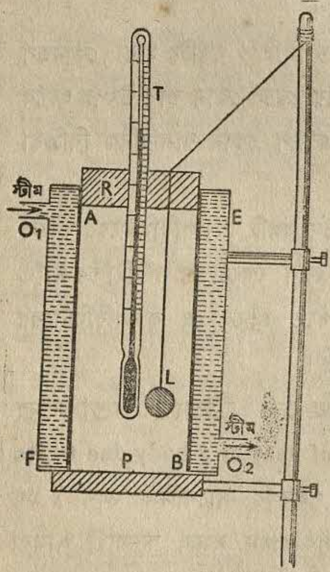
H = বস্তুর ভর (m) × উহার আপেক্ষিক তাপ (s) × উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি (θ°C) [কিংবা উষ্ণতা হ্রাস (θ°C)]।

3-5. কঠিন কিংবা তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয়

(Determination of the Specific heat of a solid or liquid) : (i) প্রথমে আলোড়ক সমেত শুষ্ক ও শূন্য ক্যালরিমিটারের (C) ওজন (m_1) একটি তুলাদ্বারা নির্ণয় করা হইল (উহাদের উভয়ের আপেক্ষিক তাপ $= s_1$ জানা) [3.1 নং চিত্র দেখ]।

(ii) পরে ক্যালরিমিটারের মধ্যে এমন আয়তনের একটি তরল লওয়া হইল (1) যাহার আপেক্ষিক তাপ s_2 কম, (2) যাহার মধ্যে কঠিনটি সবেমাত্র ডুবিয়া থাকিতে পারে, (3) যাহার মধ্যে কঠিনটি দ্রবীভূত হইবে না এবং (4) যাহার সহিত কঠিনের কোনরূপ রাসায়নিক ক্রিয়াও হইবে না। তরল সমেত ক্যালরিমিটারের ওজন $(m_1 + m_2)$ লওয়া হইল যাহা হইতে গৃহীত তরলের ওজন m_2 পাওয়া যাইবে।

(iii) প্রদত্ত কঠিনের (L) [যাহার আপেক্ষিক তাপ $= s$] ওজন (M) একটি তুলা দ্বারা নির্ণয় করিয়া উহা স্টীম হিটারের [3.2 নং চিত্র] ভিতরের চোঙের (AB) মধ্যে ঝুলাইয়া দিয়া উহার নীচের মুখ ঢাক্না (P) দ্বারা বন্ধ করা হইল। হিটারের ভিতরের চোঙ (AB) এবং বাহিরের চোঙের (EF) মধ্যবর্তী স্থানে স্টীম অতিক্রম করাইয়া কঠিনকে একটি স্থির উচ্চ উষ্ণতায় ($= t_2$°C) আনা হইল (t_2°C প্রায় স্টীমের উষ্ণতা 100°C-এর সমান)।



চিত্র 3.2 : স্টীম-হিটার

(iv) ক্যালরিমিটারের তরলের উষ্ণতা (ঘরের উষ্ণতা) t_1°C ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ থার্মোমিটার (T) হইতে জানিয়া লইয়া কঠিনকে **খুব দ্রুত** ক্যালরিমিটারের তরলের মধ্যে ফেলা হইল (ইহার জন্য হিটারের নীচের ঢাক্না (P) সরাইয়া লওয়া হয়)। কঠিন এবং তরলের মিশ্রণের উচ্চতম উষ্ণতা t°C থার্মোমিটার T হইতে পাওয়া যাইবে।

(v) উষ্ণ কঠিন দ্বারা বর্জিত তাপ $= Ms(t_2 - t)$ এবং ক্যালরিমিটার ও উহার

মধ্যস্থ তরল দ্বারা গৃহীত তাপ $=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1)$। যদি ক্যালরিমিতির নীতি পুরাপুরি মানিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে,

$$Ms(t_2-t)=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1) \quad \cdots \quad \cdots \quad (3\text{-}5a)$$

উপরের সমীকরণ হইতে কঠিনের আ. তা. $(=s)$, অথবা তরলের আ. তা. $(=s_2)$ অথবা, ক্যালরিমিটারের জলসম $(=W=m_1s_1$ গ্রাম) যে-কোন একটি নির্ণয় করা যাইবে যখন অপর দুইটির মান জানা থাকিবে।

দ্রষ্টব্য : [(i) ক্যালরিমিটারের তরলটি জল হইলে $s_2=1$ হইবে এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে কঠিনের আ. তা. s নির্ণয় করা যাইবে।

(ii) কঠিনের আ. তা. s এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে তরলের আ. তা. s_2 নির্ণয় করা যাইবে।

(iii) যদি ক্যালরিমিটারের মধ্যে t_1°C-এর (ঘরের উষ্ণতার) জল লওয়া হয় এবং উষ্ণ কঠিনের বদলে গরম জল (যাহার উষ্ণতা t_2°C) ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢালা হয় তাহা হইলে $s=s_2=1$ হইবে। এক্ষেত্রে (3-5a) সমীকরণ হইতে ক্যালরিমিটারের জলসম (W) নির্ণয় করা যাইবে।]

3-6. আপেক্ষিক তাপ-সংক্রান্ত কয়েকটি বিষয়ের ব্যাখ্যা (Explanation of some problems relating to specific heat) :

(*a*) **একই পরিমাণ তাপ, সমভরের বিভিন্ন পদার্থের উপর প্রয়োগ করিলে উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বিভিন্ন পরিমাণে হয় :**—মনে কর m ভরের দুইটি বিভিন্ন বস্তু (ধরা যাক্ A ও B) লওয়া হইল যাহাদের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে s_1 (A বস্তুর) ও s_2 (B বস্তুর)। বস্তু দুইটির প্রত্যেকের উপর H পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে যদি A ও B বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি যথাক্রমে θ_1 ও θ_2 হয় তাহা হইলে, $H=ms_1\theta_1=ms_2\theta_2$; অথবা, $s_1\theta_1=s_2\theta_2$। অতএব যে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কম হইবে তাহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে। **যথা,**—(i) একই পরিমাণ জল ও দুধ লইয়া উহাদের উপর একই পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে জল অপেক্ষা দুধের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে, কারণ আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা দুধের কম। (ii) আবার এক ক্যালরি তাপ এক গ্রাম জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, যদিও ঐ তাপ এক গ্রাম তামার 10°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ তামার আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা 10 গুণ বেশী।

(*b*) **কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মান, বস্তুর ভরের এককের উপর এবং উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভরশীলতা :**—(i) উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে মাপিলে, আপেক্ষিক তাপের মান বেশী হইবে যখন ভরের একক পাউণ্ড লওয়া হয় এবং কম হইবে যখন ভরের একক গ্রাম লওয়া হয়।

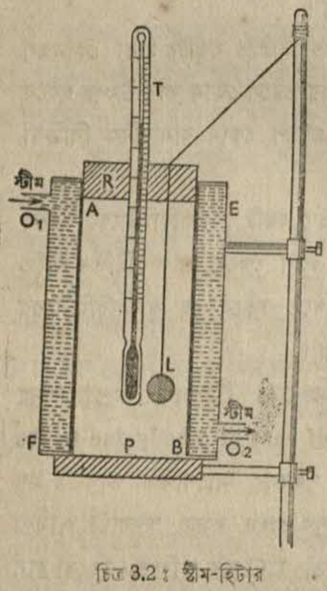
তাপের (কিংবা বর্জিত তাপের) পরিমাণ হইবে, $H=ms\,\theta$ ক্যালরি। অতএব কোন বস্তুর দ্বারা গৃহীত (বা বর্জিত) তাপের পরিমাণ ক্যালরিতে হইবে,

H = বস্তুর ভর (m) × উহার আপেক্ষিক তাপ (s) × উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি (θ°C) [কিংবা উষ্ণতা হ্রাস (θ°C)]।

3-5. কঠিন কিংবা তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of the Specific heat of a solid or liquid) ঃ (i) প্রথমে আলোড়ক সমেত শুষ্ক ও শূন্য ক্যালরিমিটারের (C) ওজন (m_1) একটি তুলাদ্বারা নির্ণয় করা হইল (উহাদের উভয়ের আপেক্ষিক তাপ $=s_1$ জানা) [3.1 নং চিত্র দেখ]।

(ii) পরে ক্যালরিমিটারের মধ্যে এমন আয়তনের একটি তরল লওয়া হইল (1) যাহার আপেক্ষিক তাপ s_2 কম, (2) যাহার মধ্যে কঠিনটি সবেমাত্র ডুবিয়া থাকিতে পারে, (3) যাহার মধ্যে কঠিনটি দ্রবীভূত হইবে না এবং (4) যাহার সহিত কঠিনের কোনরূপ রাসায়নিক ক্রিয়াও হইবে না। তরল সমেত ক্যালরিমিটারের ওজন (m_1+m_2) লওয়া হইল যাহা হইতে গৃহীত তরলের ওজন m_2 পাওয়া যাইবে।

(iii) প্রদত্ত কঠিনের (L) [যাহার আপেক্ষিক তাপ $=s$] ওজন (M) একটি তুলা দ্বারা নির্ণয় করিয়া উহা স্টীম হিটারের [3.2 নং চিত্র] ভিতরের চোঙের (AB) মধ্যে ঝুলাইয়া দিয়া উহার নীচের মুখ ঢাক্‌না (P) দ্বারা বন্ধ করা হইল। হিটারের ভিতরের চোঙ (AB) এবং বাহিরের চোঙের (EF) মধ্যবর্তী স্থানে স্টীম অতিক্রম করাইয়া কঠিনকে একটি স্থির উচ্চ উষ্ণতায় ($=t_2$°C) আনা হইল (t_2°C প্রায় স্টীমের উষ্ণতা 100°C-এর সমান)।



চিত্র 3.2 ঃ স্টীম-হিটার

(iv) ক্যালরিমিটারের তরলের উষ্ণতা (ঘরের উষ্ণতা) t_1°C ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ থার্মোমিটার (T) হইতে জানিয়া লইয়া কঠিনকে **খুব দ্রুত** ক্যালরিমিটারের তরলের মধ্যে ফেলা হইল (ইহার জন্য হিটারের নীচের ঢাকনা (P) সরাইয়া লওয়া হয়)। কঠিন এবং তরলের মিশ্রণের উচ্চতম উষ্ণতা t°C থার্মোমিটার T হইতে পাওয়া যাইবে।

(v) উষ্ণ কঠিন দ্বারা বর্জিত তাপ $=Ms(t_2-t)$ এবং ক্যালরিমিটার ও উহার

মধ্যস্থ তরল দ্বারা গৃহীত তাপ $=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1)$। যদি ক্যালরিমিতির নীতি পুরাপুরি মানিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে,

$$Ms(t_2-t)=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1) \quad \cdots \quad \cdots \quad (3\text{-}5a)$$

উপরের সমীকরণ হইতে কঠিনের আ. তা. $(=s)$, অথবা তরলের আ. তা. $(=s_2)$ অথবা, ক্যালরিমিটারের জলসম $(=W=m_1s_1$ গ্রাম$)$ যে-কোন একটি নির্ণয় করা যাইবে যখন অপর দুইটির মান জানা থাকিবে।

দ্রষ্টব্য : [(i) ক্যালরিমিটারের তরলটি জল হইলে $s_2=1$ হইবে এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে কঠিনের আ. তা. s নির্ণয় করা যাইবে।

(ii) কঠিনের আ. তা. s এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে তরলের আ. তা. s_2 নির্ণয় করা যাইবে।

(iii) যদি ক্যালরিমিটারের মধ্যে t_1°C-এর (ঘরের উষ্ণতার) জল লওয়া হয় এবং উষ্ণ কঠিনের বদলে গরম জল (যাহার উষ্ণতা t_2°C) ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢালা হয় তাহা হইলে $s=s_2=1$ হইবে। এক্ষেত্রে (3-5a) সমীকরণ হইতে ক্যালরিমিটারের জলসম (W) নির্ণয় করা যাইবে।]

3-6. আপেক্ষিক তাপ-সংক্রান্ত কয়েকটি বিষয়ের ব্যাখ্যা (Explanation of some problems relating to specific heat) :

(a) **একই পরিমাণ তাপ, সমভরের বিভিন্ন পদার্থের উপর প্রয়োগ করিলে উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বিভিন্ন পরিমাণে হয় :**—মনে কর m ভরের দুইটি বিভিন্ন বস্তু (ধরা যাক্ A ও B) লওয়া হইল যাহাদের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে s_1 (A বস্তুর) ও s_2 (B বস্তুর)। বস্তু দুইটির প্রত্যেকের উপর H পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে যদি A ও B বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি যথাক্রমে θ_1 ও θ_2 হয় তাহা হইলে, $H=ms_1\theta_1=ms_2\theta_2$; অথবা, $s_1\theta_1=s_2\theta_2$। অতএব যে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কম হইবে তাহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে। যথা,—(i) একই পরিমাণ জল ও দুধ লইয়া উহাদের উপর একই পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে জল অপেক্ষা দুধের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে, কারণ আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা দুধের কম। (ii) আবার এক ক্যালরি তাপ এক গ্রাম জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, যদিও ঐ তাপ এক গ্রাম তামার 10°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ তামার আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা 10 গুণ বেশী।

(b) **কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মান, বস্তুর ভরের এককের উপর এবং উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভরশীলতা :**—(i) উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে মাপিলে, আপেক্ষিক তাপের মান বেশী হইবে যখন ভরের একক পাউণ্ড লওয়া হয় এবং কম হইবে যখন ভরের একক গ্রাম লওয়া হয়।

তাপের (কিংবা বর্জিত তাপের) পরিমাণ হইবে, $H = ms\,\theta$ ক্যালরি। অতএব কোন বস্তুর দ্বারা গৃহীত (বা বর্জিত) তাপের পরিমাণ ক্যালরিতে হইবে,

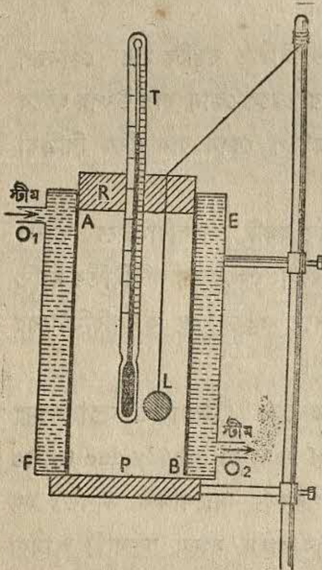
H = বস্তুর ভর (m) × উহার আপেক্ষিক তাপ (s) × উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি (θ°C) [কিংবা উষ্ণতা হ্রাস (θ°C)]।

3-5. কঠিন কিংবা তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় (Determination of the Specific heat of a solid or liquid) :

(i) প্রথমে আলোড়ক সমেত শুষ্ক ও শূন্য ক্যালরিমিটারের (C) ওজন (m_1) একটি তুলাদ্বারা নির্ণয় করা হইল (উহাদের উভয়ের আপেক্ষিক তাপ $= s_1$ জানা) [3.1 নং চিত্র দেখ]।

(ii) পরে ক্যালরিমিটারের মধ্যে এমন আয়তনের একটি তরল লওয়া হইল (1) যাহার আপেক্ষিক তাপ s_2 কম, (2) যাহার মধ্যে কঠিনটি সবেমাত্র ডুবিয়া থাকিতে পারে, (3) যাহার মধ্যে কঠিনটি দ্রবীভূত হইবে না এবং (4) যাহার সহিত কঠিনের কোনরূপ রাসায়নিক ক্রিয়াও হইবে না। তরল সমেত ক্যালরিমিটারের ওজন $(m_1 + m_2)$ লওয়া হইল যাহা হইতে গৃহীত তরলের ওজন m_2 পাওয়া যাইবে।

(iii) প্রদত্ত কঠিনের (L) [যাহার আপেক্ষিক তাপ $= s$] ওজন (M) একটি তুলা দ্বারা নির্ণয় করিয়া উহা স্টীম হিটারের [3.2 নং চিত্র] ভিতরের চোঙের (AB) মধ্যে ঝুলাইয়া দিয়া উহার নীচের মুখ ঢাক্না (P) দ্বারা বন্ধ করা হইল। হিটারের ভিতরের চোঙ (AB) এবং বাহিরের চোঙের (EF) মধ্যবর্তী স্থানে স্টীম অতিক্রম করাইয়া কঠিনকে একটি স্থির উচ্চ উষ্ণতায় ($= t_2$°C) আনা হইল (t_2°C প্রায় স্টীমের উষ্ণতা 100°C-এর সমান)।



চিত্র 3.2 : স্টীম-হিটার

(iv) ক্যালরিমিটারের তরলের উষ্ণতা (ঘরের উষ্ণতা) t_1°C ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ থার্মোমিটার (T) হইতে জানিয়া লইয়া কঠিনকে **খুব দ্রুত** ক্যালরিমিটারের তরলের মধ্যে ফেলা হইল (ইহার জন্য হিটারের নীচের ঢাক্না (P) সরাইয়া লওয়া হয়)। কঠিন এবং তরলের মিশ্রণের উচ্চতম উষ্ণতা t°C থার্মোমিটার T হইতে পাওয়া যাইবে।

(v) উষ্ণ কঠিন দ্বারা বর্জিত তাপ $= Ms(t_2 - t)$ এবং ক্যালরিমিটার ও উহার

মধ্যস্থ তরল দ্বারা গৃহীত তাপ $=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1)$। যদি ক্যালরিমিতির নীতি পুরাপুরি মানিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে,

$$Ms(t_2-t)=(m_1s_1+m_2s_2)(t-t_1) \quad \cdots \quad \cdots \quad (3\text{-}5a)$$

উপরের সমীকরণ হইতে কঠিনের আ. তা. $(=s)$, অথবা তরলের আ. তা. $(=s_2)$ অথবা, ক্যালরিমিটারের জলসম $(=W=m_1s_1$ গ্রাম) যে-কোন একটি নির্ণয় করা যাইবে যখন অপর দুইটির মান জানা থাকিবে।

দ্রষ্টব্য : [(i) ক্যালরিমিটারের তরলটি জল হইলে $s_2=1$ হইবে এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে কঠিনের আ. তা. s নির্ণয় করা যাইবে।

(ii) কঠিনের আ. তা. s এবং ক্যালরিমিটারের জলসম W জানা থাকিলে তরলের আ. তা. s_2 নির্ণয় করা যাইবে।

(iii) যদি ক্যালরিমিটারের মধ্যে t_1°C-এর (ঘরের উষ্ণতার) জল লওয়া হয় এবং উষ্ণ কঠিনের বদলে গরম জল (যাহার উষ্ণতা t_2°C) ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঢালা হয় তাহা হইলে $s=s_2=1$ হইবে। এক্ষেত্রে $(3\text{-}5a)$ সমীকরণ হইতে ক্যালরিমিটারের জলসম (W) নির্ণয় করা যাইবে।]

3-6. আপেক্ষিক তাপ-সংক্রান্ত কয়েকটি বিষয়ের ব্যাখ্যা (Explanation of some problems relating to specific heat) :

(*a*) **একই পরিমাণ তাপ, সমভরের বিভিন্ন পদার্থের উপর প্রয়োগ করিলে উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বিভিন্ন পরিমাণে হয় :**—মনে কর m ভরের দুইটি বিভিন্ন বস্তু (ধরা যাক্ A ও B) লওয়া হইল যাহাদের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে s_1 (A বস্তুর) ও s_2 (B বস্তুর)। বস্তু দুইটির প্রত্যেকের উপর H পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে যদি A ও B বস্তুর উষ্ণতা বৃদ্ধি যথাক্রমে θ_1 ও θ_2 হয় তাহা হইলে, $H=ms_1\theta_1=ms_2\theta_2$; অথবা, $s_1\theta_1=s_2\theta_2$। অতএব যে পদার্থের আপেক্ষিক তাপ কম হইবে তাহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে। **যথা,**—(i) একই পরিমাণ জল ও দুধ লইয়া উহাদের উপর একই পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে জল অপেক্ষা দুধের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে, কারণ আপেক্ষিক তাপ জল অপেক্ষা দুধের কম। (ii) আবার এক ক্যালরি তাপ এক গ্রাম জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, যদিও ঐ তাপ এক গ্রাম তামার 10°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে, কারণ জলের আপেক্ষিক তাপ তামার আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা 10 গুণ বেশী।

(*b*) **কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মান, বস্তুর ভরের এককের উপর এবং উষ্ণতার স্কেলের উপর নির্ভরশীলতা :**—(i) উষ্ণতা সেন্টিগ্রেড স্কেলে মাপিলে, আপেক্ষিক তাপের মান বেশী হইবে যখন ভরের একক পাউণ্ড লওয়া হয় এবং কম হইবে যখন ভরের একক গ্রাম লওয়া হয়।

যদি পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে একগ্রাম পদার্থের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য s ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে। অতএব এক পাউণ্ড (= 453·6 গ্রাম) পদার্থের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য যে তাপের প্রয়োজন হইবে তাহার পরিমাণ $s' = 453{\cdot}6\ s$ ক্যালরি। অতএব $s' > s$।

(ii) পদার্থের ভর গ্রামে মাপিলে, আপেক্ষিক তাপের মান সেন্টিগ্রেড স্কেলে বেশী হইবে এবং ফারেনহাইট স্কেলে কম হইবে।

আপেক্ষিক তাপের প্রথম সংজ্ঞা অনুযায়ী, সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে এক গ্রাম পদার্থের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যদি s ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয় তাহা হইলে ঐ এক গ্রাম পদার্থের 1°F উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে তাপের প্রয়োজন হইবে $s' = \frac{5}{9}\ s$ ক্যালরি [কারণ $1°F \equiv (\frac{5}{9})°C$]। অতএব $s' < s$।

(iii) ভরের একক গ্রাম, উষ্ণতার স্কেল সেন্টিগ্রেড এবং তাপের একক ক্যালরি লইলে যদি কোন পদার্থের আপেক্ষিক তাপের মানের সংখ্যা s হয় তাহা হইলে যখন ভরের একক পাউণ্ড, উষ্ণতার স্কেল ফারেনহাইট এবং তাপের একক 'ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক' লওয়া হইবে তখনও আপেক্ষিক তাপের মানের সংখ্যা s-ই থাকিবে [3-2 পরিচ্ছেদের b(1) (iii) দেখ]।

(*c*) **জলের আপেক্ষিক তাপ অধিক হওয়ার ফল** (Effects of high Specific heat of water) : আমাদের পরিচিত কঠিন এবং তরলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা জলের আপেক্ষিক তাপ বেশী। ইহার ফলে কিছু অসুবিধার সৃষ্টি হয় আবার সময়ে সময়ে সুবিধাও পাওয়া যায়।

(i) যেহেতু পারদের আপেক্ষিক তাপ, জলের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা অনেক কম (প্রায় 1/30), সেইহেতু থার্মোমিটার প্রস্তুত করিতে জল না লইয়া পারদ লওয়া হয়।

(ii) রবারের ব্যাগে (hot-water bag) গরম জল লইলে ঐ জলে অধিক পরিমাণ তাপ থাকায় উহা হইতে অনেকক্ষণ তাপ পাওয়া যায়।

(iii) শীতপ্রধান দেশে ঘর গরম রাখিবার জন্য ঘরের ভিতরের নলে গরম জল প্রবাহিত করানো হয়। এই গরম জল বেশী তাপ বর্জন করিয়া ঘর গরম রাখিতে পারে।

(iv) সমুদ্রজল বেষ্টিত কোনও দ্বীপের তাপমাত্রা খুব বেশীও হয় না আবার খুব কমও হয় না। কারণ সূর্যকিরণে যখন মাটি ও জল উভয়েই গরম হয় তখন জল অপেক্ষা মাটি বেশী গরম হয় (কারণ জল অপেক্ষা মাটির আপেক্ষিক তাপ অনেক কম)। এজন্য মাটির তাপ জলে পরিবাহিত হইয়া যায় যাহার ফলে মাটির তাপমাত্রা বেশী হইতে পারে না। আবার শীতকালে জল অপেক্ষা মাটি বেশী ঠাণ্ডা হয়। এজন্য জলের তাপ মাটিতে পরিবাহিত হইয়া আসিয়া মাটির উষ্ণতা খুব বেশী কম হইতে দেয় না।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Question) [অধ্যায় 3]

1. বিভিন্ন পদ্ধতিতে তাপের এককের সংজ্ঞা লিখ এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ স্থির কর। [Art. 3-2(a)]

2. আপেক্ষিক তাপের প্রচলিত সংজ্ঞাগুলি লিখ এবং উহাদের একক বিভিন্ন পদ্ধতিতে কি হইবে? আপেক্ষিক তাপের মান বস্তুর ভরের এককের উপর এবং উষ্ণতার স্কেলের উপর কিভাবে নির্ভর করে? [Arts. 3-2(b) ও 3-6(b)]

3. বস্তুর তাপগ্রাহীতা এবং জলসমের সংজ্ঞা লিখ। উহাদের মধ্যে পার্থক্য কি? উহাদের একক কি হইবে? [Art. 3-2(c), (d) ও (e)]

4. ক্যালরিমিতির মূল নীতির ব্যাখ্যা কর। কি কি অবস্থায় এই মূল নীতি প্রযোজ্য। বাস্তবে এই মূলনীতির শর্তগুলি কিভাবে পালন করা হয়? কোন বস্তুর উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধিতে উহার তাপের কি পরিমাণ হ্রাস-বৃদ্ধি হইবে? [Arts 3-3 ও 3-4]

5. কোন পরীক্ষার বিবরণ দাও যাহা দ্বারা কঠিনের কিংবা কোন তরলের আপেক্ষিক তাপ নির্ণয় করা যায়। মনে কর, তোমাকে একটি থার্মোমিটার দেওয়া হইল যাহা 50°C-এর বেশী পাঠ দিতে পারে না। এই থার্মোমিটারের সাহায্যে একটি উননের তাপমাত্রা কিভাবে নির্ণয় করা যাইবে? [Art. 3-5]

6. (i) একই পরিমাণ জল এবং দুধ একই উননের উপর বসাইলে কে বেশী গরম হইবে এবং কেন? (ii) থার্মোমিটার প্রস্তুত করিতে জল না লইয়া পারদ লওয়া হয় কেন? (iii) শীত-প্রধান দেশে পাইপের মধ্যে গরম জল প্রবাহিত করাইবার কারণ কি? (iv) কোন দ্বীপের উষ্ণতা বৎসরের কোন সময়েই খুব বেশী কিংবা খুব কম হয় না কেন? (v) জলবায়ু ও স্থলবায়ু হওয়ার কারণ কি? [Art. 3-6]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 3]

A. Multiple choice type : (i) সমভরের দুই পদার্থের উপর একই পরিমাণ তাপ প্রয়োগ করিলে কি হইবে?– (i) উহাদের উষ্ণতা সমহারে বৃদ্ধি পাইবে; যে বস্তুর আ. তা. কম তাহার উষ্ণতা বেশী বৃদ্ধি পাইবে; যে বস্তুর আয়তন বেশী হইবে তাহার উষ্ণতা কম বৃদ্ধি পাইবে। (2) কোন বস্তুর তাপগ্রাহীতা এবং জলসমের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি?—কোন পার্থক্য নাই, উহারা একই সংখ্যায় এবং একই এককে প্রকাশিত হয়; উহারা একই সংখ্যায় প্রকাশিত হইলেও উহাদের একক বিভিন্ন; উহারা বিভিন্ন সংখ্যায় এবং বিভিন্ন এককে প্রকাশিত হয়। (3) এক ক্যালরি তাপ, এক গ্রাম জলে এবং এক গ্রাম তামায় প্রয়োগ করিলে উহাদের উষ্ণতার পার্থক্য হইবে কি?—উহাদের উষ্ণতা বৃদ্ধি একই হইবে; জলের উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পাইবে এবং তামার উষ্ণতা প্রায় 10°C বৃদ্ধি পাইবে; তামার উষ্ণতা-বৃদ্ধি অপেক্ষা জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি বেশী হইবে।

B. Completion type : (1) সমভরের জল ও সরিষার তেল একই উননে রাখিলে জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি—হয় এবং তেলের উষ্ণতা বৃদ্ধি—হয়। (2) কোন বস্তুর তাপগ্রাহীতা এবং—একই সংখ্যা দ্বারা প্রকাশিত হয় যদিও উহাদের একক—। (3) আপেক্ষিক তাপের এক সংজ্ঞা অনুযায়ী উহার এককের নাম—কিন্তু উহার দ্বিতীয় সংজ্ঞা অনুযায়ী উহা একটি—।

C. True or false type : (1) আপেক্ষিক তাপের মান সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে একই হয়। (2) তাপের এককের পরিমাণ সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে একই হয়। (3) বস্তুর জলসমের মান বস্তুর ভরের একক এবং তাপমাত্রার স্কেলের উপর নির্ভর করে।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 3]

1. একটি প্ল্যাটিনামের বলকে [যাহার ভর=80 গ্রাম এবং আ. তা. 0·0365] একটি উননের মধ্যে অনেকক্ষণ রাখিয়া উহাকে খুব দ্রুত ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে ফেলা হইল, যে জলের ভর=400 গ্রাম এবং প্রাথমিক উষ্ণতা=15°C। জলের উষ্ণতা 20°C-এ উঠিলে এবং ক্যালরিমিটারের জলসম 50 গ্রাম হইলে উননের উষ্ণতা কত ছিল ?

উঃ। প্ল্যাটিনামের বল দ্বারা বর্জিত তাপ=$80\times{}^{\cdot}0365(t-20)$ ক্যালরি। ক্যালরিমিটার এবং তাহার মধ্যস্থ জল দ্বারা গৃহীত তাপ=$(400+50)\times1\times5$ ক্যালরি। যদি তাপ অন্য কোনভাবে নষ্ট না হয় তাহা হইলে বর্জিত তাপ=গৃহীত তাপ। অথবা, $80\times{}^{\cdot}0365(t-20)=450\times5$। অথবা, $t=790{\cdot}55^{\circ}C$।

2. একটি তামার পাত্রের মধ্যে (যাহার জলসম 60 গ্রাম) 600 গ্রাম জল আছে যাহার উষ্ণতা 30°C। এই পাত্রকে একটি বুনসেন দীপ দ্বারা গরম করিতে থাকা হইল, যে দীপ প্রতি সেকেণ্ডে 100 ক্যালরি তাপ পাত্রকে দিতেছে। যদি অন্য কোন উপায়ে তাপ নষ্ট না হয় তাহা হইলে ঐ জলকে স্ফুটনাঙ্কে তুলিতে এবং পরে উহার 50 গ্রামকে বাষ্পে পরিণত করিতে কত সময় লাগিবে ? জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ 540 ক্যালরি/গ্রাম।

উঃ। (i) পাত্র এবং পাত্রস্থ জলের উষ্ণতা 100°C তুলিতে (জলের স্ফুটনাঙ্ক) যে তাপ লাগিবে তাহার পরিমাণ=$H_1=(600+60)(100-30)=46200$ ক্যালরি এবং ইহার জন্য যে সময় লাগিবে তাহা হইবে $t_1=\frac{46200}{100}=462$ সেকেণ্ড=7 মিনিট 42 সেকেণ্ড।

(ii) 100°C উষ্ণতার 50 গ্রাম জলকে বাষ্পে পরিণত করিতে যে তাপ লাগিবে তাহার পরিমাণ=$H_2=50\times540=27000$ ক্যালরি এবং ইহার জন্য যে সময় লাগিবে তাহা হইবে $t_2=270$ সেকেণ্ড=4 মিনিট 30 সেকেণ্ড। অতএব সমস্ত প্রক্রিয়ার জন্য যে মোট সময় লাগিবে তাহা হইবে $t=t_1+t_2=12$ মিনিট 12 সেকেণ্ড।

3. তিনটি বিভিন্ন তরলের (ধরা যাক্ A, B, ও C) উষ্ণতা যথাক্রমে 14°C, 24°C ও 34°C। সমভরের A ও B তরল দুইটি মিশাইলে ঐ মিশ্রণের উষ্ণতা 20°C হয় এবং সমভরের B ও C তরল দুইটি মিশাইলে ঐ মিশ্রণের উষ্ণতা 31°C হয়। সমভরের A ও C তরলদ্বয় মিশাইলে ঐ মিশ্রণের কত উষ্ণতা হইবে ?

উঃ। মনে কর A, B ও C তরলত্রয়ের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে s_1, s_2 ও s_3 এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে m ভরের তরল লওয়া হইল। (i) A ও B তরলের মিশ্রণের জন্য $ms_1(20-14)=ms_2(24-20)$; অথবা, $s_1/s_2=2/3$

(ii) B ও C তরলের মিশ্রণের জন্য, $ms_2(31-24)=ms_3(34-31)$;

অথবা, $s_2/s_3=3/7$। অতএব, $\frac{s_1}{s_3}=\frac{s_1}{s_2}\times\frac{s_2}{s_3}=\frac{2}{3}\times\frac{3}{7}=\frac{2}{7}$। যদি A ও C তরলের মিশ্রণের উষ্ণতা t°C হয় তাহা হইলে, $ms_1(t-14)=ms_3(34-t)$;

অথবা, $\frac{s_1}{s_3}=\frac{34-t}{t-14}=\frac{2}{7}$; অতএব, $t=29{\cdot}6$°C।

4. দুইটি বিভিন্ন ধাতুর মিশ্রণে যে সংকর ধাতু উৎপন্ন হইল তাহার ভর 150 গ্রাম এবং উষ্ণতা 25°C। ইহাকে একটি পাত্রের মধ্যস্থ 28 গ্রাম জলের মধ্যে (যাহার উষ্ণতা 98°C) ফেলিলে মিশ্রণের উষ্ণতা 78·7°C হয়। পাত্রের জলসম 1·21 গ্রাম হইলে সংকর ধাতুর তাপগ্রাহীতা কত হইবে? যদি দুইটি ধাতুর আপেক্ষিক তাপ ·09 ও ·03 হয় তাহা হইলে সংকর ধাতুতে যে দুইটি ধাতু মিশ্রিত আছে তাহাদের ভর নির্ণয় কর।

উঃ। সংকর ধাতুর তাপগ্রাহীতা W হইলে উহা দ্বারা গৃহীত তাপ $=W(78{\cdot}7-25)$। জল এবং পাত্র কর্তৃক বর্জিত তাপ $=(28+1{\cdot}21)\times(98-78{\cdot}7)$। যদি তাপ কোনরূপে নষ্ট না হয় তাহা হইলে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ।

অথবা, $W\times 53{\cdot}7=29{\cdot}21\times 19{\cdot}3$; অথবা, $W=10{\cdot}50$ ক্যালরি।

যদি সংকর ধাতুর একটির ভর m গ্রাম (এবং আ. তা. = ·09) হয় তাহা হইলে অপরটির ভর হইবে $(150-m)$ [এবং আ. তা. হইবে ·03]।

অতএব, $m\times{\cdot}09+(150-m)\times{\cdot}03=10{\cdot}50$; অথবা, $m=100$ গ্রাম। অতএব ·09 আপেক্ষিক তাপের ধাতুটির ভর 100 গ্রাম এবং ·03 আপেক্ষিক তাপের ধাতুর ভর 50 গ্রাম হইবে।

5. দুইটি পদার্থের ঘনত্বের অনুপাত 2 : 3 এবং উহাদের আপেক্ষিক তাপের মান যথাক্রমে ·12 এবং ·09। ঐ দুই পদার্থের একক আয়তনের তাপগ্রাহীতার তুলনা কর।

উঃ। মনে কর প্রথম ও দ্বিতীয় পদার্থের একক আয়তনের তাপগ্রাহীতা ও ঘনত্ব যথাক্রমে C_1 ও C_2 এবং ρ_1 ও ρ_2।

অতএব, $\frac{C_1}{C_2}=\frac{\rho_1\times{\cdot}12}{\rho_2\times{\cdot}09}$। অথবা, $\frac{C_1}{C_2}=\frac{2}{3}\times\frac{12}{9}=\frac{8}{9}$।

অনুশীলনী (Exercise)

1. 50°C উষ্ণতার 34 গ্রাম জল, 15°C উষ্ণতার ক্যালরিমিটারে ঢালিলে উহাদের উভয়ের উষ্ণতা 20°C হয়। ক্যালরিমিটারের জলসম কত? [*Ans.* 204 গ্রাম]

2. 98°C উষ্ণতার এবং 700 গ্রাম ভরের একটি তামার পিণ্ড, 200 গ্রাম ভরের একটি তামার পাত্রে রক্ষিত 800 গ্রাম জলের মধ্যে (যাহার উষ্ণতা 15°C) ফেলা হইল। মিশ্রণের উষ্ণতা 21°C হইলে তামার আপেক্ষিক তাপ কত হইবে? [*Ans.* 0·091]

3. 210 গ্রাম ভরের একটি লোহার বলকে (লোহার আ. তা. = ·105) একটি চুল্লির মধ্যে কিছুক্ষণ গরম করা হইল। এই গরম বলকে একটি ক্যালরিমিটারের (যাহার জলসম = 20 গ্রাম) মধ্যস্থ 710 গ্রাম জলের মধ্যে ফেলা হইল। জলের উষ্ণতা 10°C হইতে 40°C পর্যন্ত বৃদ্ধি পাইলে চুল্লির উষ্ণতা কত ছিল ? [*Ans.* 1033·2°C]

4. 600 গ্রাম জলের উষ্ণতা 20°C হইতে 100°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করা হইল এবং 4 পাউণ্ড জলের উষ্ণতা 35°F হইতে 85°F পর্যন্ত বৃদ্ধি করা হইল। কোন ক্ষেত্রে বেশী তাপ লাগিল ? [*Ans.* দ্বিতীয় ক্ষেত্রে]

সংকেত : [প্রথম ক্ষেত্রে গৃহীত তাপ = 600 × (100 − 20) = 48000 ক্যালরি। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে গৃহীত তাপ = 4(85 − 35) = 200 বৃ. থা. এ. = 200 × 252 = 50400 ক্যালরি।]

5. এক কিলোগ্রাম তামার 40°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে যে তাপ লাগে তাহার দ্বারা 3 কিলোগ্রাম জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি 1·2°C হয়। তামার আপেক্ষিক তাপ কত ? [*Ans.* ·09]

6. দুইটি পদার্থ *A* ও *B*-এর ঘনত্বের অনুপাত 3 : 4 এবং উহাদের আপেক্ষিক তাপের অনুপাত 4 : 5। যদি পদার্থ দুইটির আয়তনের অনুপাত 2 : 3 হয় তাহা হইলে উহাদের তাপগ্রাহীতার অনুপাত কত হইবে ? $\left[\frac{C_1}{C_2}=\frac{m_1s_1}{m_2s_2}=\frac{v_1\rho_1s_1}{v_2\rho_2s_2}\right]$ $\left[Ans.\ \frac{C_1}{C_2}=\frac{2}{5}\right]$

7. একটি ঘরের পরিমাপ = 5 মিটার × 4 মিটার × 4 মিটার এবং ঐ ঘরের মধ্যস্থ বাতাসের ঘনত্ব = 1·2 গ্রাম প্রতি লিটারে। বাতাসের আপেক্ষিক তাপ 0·24 হইলে, ঘরের বাতাসের উষ্ণতা 5°C বৃদ্ধি করিতে কত তাপ লাগিবে ? [*Ans.* 115200 ক্যালরি]

8. একটি তামার পাত্রে (যাহার জলসম = 100 গ্রাম) এক কিলোগ্রাম জল আছে যাহার উষ্ণতা 30°C। পাত্রে যদি প্রতি সেকেণ্ডে 200 ক্যালরি তাপ প্রয়োগ করা হয় তাহা হইলে উহার জলকে স্ফুটনাঙ্ক তুলিতে কত সময় লাগিবে ? (H. S 1964) [*Ans.* 6 মিনিট 25 সেকেণ্ড]

9. 91°C উষ্ণতার 10 গ্রাম লবণকে, 13°C উষ্ণতার 125 গ্রাম তার্পিণ তেলের (যাহার আ. তা. = ·428) মধ্যে ফেলা হইলে ঐ মিশ্রণের উষ্ণতা 16°C হয়। লবণের আপেক্ষিক তাপ কত ? এই পরীক্ষায় তেল না লইয়া জল লইলে কি হয় ? [*Ans.* 0·214 ; লবণ জলে দ্রবীভূত হয়]

10. দশ গ্রাম ভরের এবং 90°C উষ্ণতার একখণ্ড লৌহকে (লোহার আ. তা. = ·112) একটি ক্যালরিমিটারের (যাহার জলসম 5 গ্রাম) মধ্যস্থ 25 গ্রাম জলের মধ্যে ফেলিলে মিশ্রণের উষ্ণতা 30°C হয়। ক্যালরিমিটারের জলের প্রাথমিক উষ্ণতা কত ছিল ? [*Ans.* 27·76°C]

11. 440°C উষ্ণতার এবং 50 গ্রাম ভরের কোন ধাতুকে (আ. তা. = ·12) একটি ক্যালরিমিটারের (জলসম = 10 গ্রাম) মধ্যস্থ 150 গ্রাম জলের মধ্যে ফেলা হইল। জলের প্রাথমিক উষ্ণতা 25°C থাকিলে উহার কি পরিমাণ উষ্ণতা বৃদ্ধি হইবে ? [*Ans.* উষ্ণতা-বৃদ্ধি = 15°C]

12. 40 গ্যালন জল দ্বারা পূর্ণ একটি জলাধারের উষ্ণতা 50°F হইতে 130°F বৃদ্ধি করিতে কত পাউণ্ড কয়লা পুড়াইতে হইবে যদি এক পাউণ্ড কয়লা পুড়াইয়া যে 15000 বৃ. থা. এ. তাপ উদ্ভূত হয় তাহার মাত্র 60% জল গরম করিতে কাজে লাগে ? [*Ans.* $3\frac{5}{9}$ পাউণ্ড]

13. ·54 আপেক্ষিক তাপসম্পন্ন 29°C উষ্ণতার কোন তরলের (*A*) সহিত 0·36 আপেক্ষিক তাপ-সম্পন্ন 11°C উষ্ণতার অপর একটি তরল (*B*) মিশ্রিত করা হইল। যদি মিশ্রণের চূড়ান্ত উষ্ণতা 17°C হয় তাহা হইলে তরল দুইটির ভরের অনুপাত কত হইবে ? [$Ans.\ m_a : m_b = 1 : 3$]

অধ্যায় 4

পদার্থের অবস্থান্তর
(Change of state of a Substance)

4-1. পদার্থের অবস্থান্তর ঃ কোন বস্তুর মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ-ভেদে উহা তিনটি বিভিন্ন অবস্থায় থাকিতে পারে, যথা—কঠিন, তরল এবং বায়বীয় বা গ্যাসীয় অবস্থা। কঠিনের অণুগুলির মধ্যে আকর্ষণবল খুব বেশী এজন্য উহারা ঘন সন্নিবিষ্ট থাকে এবং একস্থান হইতে অন্যস্থানে যাইতে পারে না। এজন্য কঠিনের নির্দিষ্ট আয়তন এবং আকার থাকে। পদার্থের কঠিন অবস্থায় উহার মধ্যে যে পরিমাণ তাপ $(=H_s)$ থাকে তাহা উহার অন্যান্য অবস্থা অপেক্ষা কম।

কঠিনের উপর তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং ঐ উষ্ণতা যখন একটি নির্দিষ্ট মানে আসে (যাহাকে কঠিনের গলনাঙ্ক কিংবা তরলের হিমাঙ্ক বলে) তখন উহার উষ্ণতা আর বৃদ্ধি না পাইয়া উহা তরলে পরিণত হইতে থাকে। এখন অণুগুলির গতি বেশী হওয়ায় উহারা পরস্পরের আকর্ষণবলকে ছিন্ন করিয়া ইতস্ততঃ ঘুরিয়া বেড়ায়। এই অবস্থায় পদার্থের নির্দিষ্ট আয়তন থাকে কিন্তু কোন আকার থাকে না। তরলের মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ $(=H_l)$ কঠিনের মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ অপেক্ষা বেশী হইবে, অর্থাৎ $H_l > H_s$।

তরলের উপর আরও তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার উষ্ণতা পুনরায় বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং ঐ উষ্ণতা যখন একটি নির্দিষ্ট মানে আসে (যাহাকে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে) তখন উহার উষ্ণতার আর বৃদ্ধি না পাইয়া উহা বাষ্পে পরিণত হইতে থাকে। এই অবস্থায় উহার মধ্যে তাপের পরিমাণ $(=H_g)$ খুব বেশী থাকে, অর্থাৎ $H_g > H_l > H_s$। পদার্থের এই বায়বীয় অবস্থায় উহার অণুগুলি খুব দূরে দূরে থাকিয়া তীব্রবেগে ছোটাছুটি করিতে থাকে। এই কারণে গ্যাসীয় অবস্থায় পদার্থের কোন বিশিষ্ট আকার বা আয়তন থাকে না।

4-2. পদার্থের লীনতাপ ও তাহার একক (Latent heat of a Substance and its units) ঃ 3-2 পরিচ্ছেদে, ক্যালরিমিতি সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞায় যে তাপের উল্লেখ করা হইয়াছে তাহা দ্বারা বস্তুর উষ্ণতার পরিবর্তন হয়। কাজেই এই প্রকার তাপের অস্তিত্ব থার্মোমিটারে ধরা পড়ে। এই প্রকার তাপকে (যাহা থার্মোমিটারে ধরা পড়ে) **ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপ** (sensible heat) বলে। কিন্তু যখন কোন পদার্থের কেবলমাত্র অবস্থান্তর (কঠিন$\rightleftharpoons$তরল কিংবা তরল$\rightleftharpoons$বাষ্প) করিবার

জন্য উহাতে যে তাপ প্রয়োগ বা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহা দ্বারা পদার্থের উষ্ণতার কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। কাজেই পদার্থের কেবলমাত্র অবস্থান্তরের জন্য প্রযুক্ত বা নিষ্কাশিত তাপ থার্মোমিটারে ধরা পড়ে না বলিয়া ঐ তাপকে **লীন তাপ** (latent heat) বলে। অতএব পদার্থের লীনতাপের সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

সংজ্ঞা :—এককভরের কোন পদার্থের কোনরূপ উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, কেবলমাত্র উহার অবস্থার পরিবর্তন (কঠিন⇌তরল কিংবা তরল⇌বাষ্প) করিতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োগ বা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে ঐ পদার্থের **লীনতাপ** বলে।

মনে কর m ভরের কোন পদার্থের, উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর করিতে Q পরিমাণ তাপ প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হইল। উপরের সংজ্ঞা অনুযায়ী পদার্থের লীন তাপ $= L = Q/m$ ... ... (4-2a)

লীন তাপের একক (Units of latent heat) :—

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে**—Q ক্যালরি তাপ যদি m গ্রাম পদার্থের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর ঘটায় তাহা হইলে উহার লীনতাপ $= L = Q/m$ ক্যালরি প্রতি গ্রামে। অতএব **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে, লীনতাপের একক 'ক্যালরি প্রতি গ্রামে' হইবে।**

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে**—Q' পরিমাণ ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক তাপ যদি m' পাউণ্ড পদার্থের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর ঘটায় তাহা হইলে উহার লীনতাপ $= L' = Q'/m'$ ব্র. থা. এ. প্রতি পাউণ্ডে। অতএব, **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে, লীনতাপের একক 'ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক প্রতি পাউণ্ডে' হইবে।**

(iii) **দুই এককের পারস্পরিক সম্বন্ধ** :—Q' ব্র. থা. এ. $= Q' \times 252$ ক্যালরি এবং m' পাউণ্ড $= m \times 453{\cdot}6$ গ্রাম। কিন্তু সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে,

$$\text{লীনতাপ} = L = \frac{\text{ক্যালরিতে তাপের পরিমাণ } (Q)}{\text{গ্রামে ভরের পরিমাণ } (m)} = \frac{Q' \times 252}{m' \times 453{\cdot}6} = \frac{Q'}{m' \times 1{\cdot}8}$$

কিন্তু Q'/m' = এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে লীনতাপের একক $= L'$। অতএব, $L = L'/1{\cdot}8$; অথবা, $L' = L \times 1{\cdot}8$ ... ... (4-2b)

4-3. দুইপ্রকার লীনতাপ (Two kinds of latent heats) ঃ পদার্থের অবস্থান্তর দুইভাবে হইতে পারে, যথা—(1) কঠিন⇌তরল (নিম্ন অবস্থান্তর) এবং (2) তরল⇌বাষ্প (উচ্চ অবস্থান্তর)।

(1) নিম্ন অবস্থান্তরের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহাকে গলনের লীনতাপ (latent heat of fusion) কিংবা কঠিনীভবনের লীনতাপ (latent heat of solidification) বলে। নির্দিষ্ট পদার্থের ক্ষেত্রে এই দুই লীনতাপেরই পরিমাণ সমান।

সংজ্ঞা :—একক ভরের (এক গ্রাম কিংবা এক পাউণ্ড) পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, উহাকে কঠিন হইতে তরলে কিংবা তরল হইতে কঠিনে পরিণত করিতে যথাক্রমে যে পরিমাণ তাপ (ক্যালরিতে কিংবা বৃ. থা. এককে) প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে পদার্থের **গলনের** কিংবা **কঠিনীভবনের লীনতাপ** বলে।

উদাহরণ :—'বরফ গলনের লীনতাপ কিংবা জলের কঠিনীভবনের লীনতাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে (অথবা, $1{\cdot}8 \times 80 = 144$ বৃ. থা. একক প্রতি পাউণ্ডে)'। এই উক্তি দ্বারা আমরা বুঝি যে, এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 0°C উষ্ণতার বরফকে ঐ উষ্ণতায় জলে পরিণত করিতে উহার উপর 80 ক্যালরি (অথবা 144 বৃ. থা. এ.) তাপ প্রয়োগ করিতে হয়। আবার এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 0°C উষ্ণতার জলকে ঐ উষ্ণতায় বরফে পরিণত করিতে উহা হইতে 80 ক্যালরি (অথবা, 144 বৃ. থা. এ.) তাপ নিষ্কাশন করিতে হয়। অতএব দেখা যাইতেছে যে, জল 0°C উষ্ণতায় আসিলেই উহা বরফে পরিণত হয় না। 0°C উষ্ণতার প্রতি গ্রাম জল হইতে 80 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিলে উহা বরফে পরিণত হইবে। 0°C উষ্ণতার এক গ্রাম জল ও বরফ লইলে জল অপেক্ষা বরফে 80 ক্যালরি তাপ কম থাকিবে। এজন্য কোন বস্তু ঠাণ্ডা রাখিতে 0°C উষ্ণতার বরফ বেশী ফলপ্রদ।

(2) উক্ত অবস্থান্তরের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহাকে বাষ্পীভবনের লীনতাপ (latent heat of vaporisation) কিংবা ঘনীভবনের লীনতাপ (latent heat of condensation) বলে। নির্দিষ্ট পদার্থের ক্ষেত্রে এই দুই লীনতাপেরই পরিমাণ সমান।

সংজ্ঞা :—একক ভরের (এক গ্রাম কিংবা এক পাউণ্ড) পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, উহাকে তরল হইতে বাষ্পে কিংবা বাষ্প হইতে তরলে পরিণত করিতে যথাক্রমে যে পরিমাণ তাপ (ক্যালরিতে কিংবা বৃ. থা. এককে) প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে পদার্থের **বাষ্পীভবনের কিংবা ঘনীভবনের লীনতাপ** বলে।

উদাহরণ :—'জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ কিংবা স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ প্রায় 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে (অথবা, $1{\cdot}8 \times 540 = 972$ বৃ. থা. এ. প্রতি পাউণ্ডে)'। এই উক্তি দ্বারা আমরা বুঝি যে, এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 100°C উষ্ণতার জলকে ঐ উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত করিতে উহার উপর 540 ক্যালরি (অথবা, 972 বৃ. থা. এ.) তাপ প্রয়োগ করিতে হয়। আবার এক গ্রাম (অথবা, এক পাউণ্ড) 100°C উষ্ণতার স্টীমকে ঐ উষ্ণতায় জলে পরিণত করিতে 540 ক্যালরি (অথবা, 972 বৃ. থা. এ.) তাপ নিষ্কাশন করিতে হয়। অতএব 100°C উষ্ণতার এক গ্রাম জল ও স্টীম হইলে জল অপেক্ষা স্টীমে 540 ক্যালরি তাপ বেশী থাকিবে। এজন্য কোন বস্তুকে 100°C উষ্ণতার স্টীমের মধ্যে রাখিলে উহা যেরূপ তাপ পায়, 100°C উষ্ণতার

জন্য উহাতে যে তাপ প্রয়োগ বা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহা দ্বারা পদার্থের উষ্ণতার কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। কাজেই পদার্থের কেবলমাত্র অবস্থান্তরের জন্য প্রযুক্ত বা নিষ্কাশিত তাপ থার্মোমিটারে ধরা পড়ে না বলিয়া ঐ তাপকে **লীন তাপ** (latent heat) বলে। অতএব পদার্থের লীনতাপের সংজ্ঞা নিম্নলিখিতভাবে দেওয়া যাইতে পারে।

সংজ্ঞা :—এককভরের কোন পদার্থের কোনরূপ উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, কেবলমাত্র উহার অবস্থার পরিবর্তন (কঠিন$\rightleftharpoons$তরল কিংবা তরল$\rightleftharpoons$বাষ্প) করিতে যে পরিমাণ তাপ প্রয়োগ বা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে ঐ পদার্থের **লীনতাপ** বলে।

মনে কর m ভরের কোন পদার্থের, উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর করিতে Q পরিমাণ তাপ প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হইল। উপরের সংজ্ঞা অনুযায়ী পদার্থের লীন তাপ $=L=Q/m$ ... ... (4-2*a*)

লীন তাপের একক (Units of latent heat) :—

(i) **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে**—Q ক্যালরি তাপ যদি m গ্রাম পদার্থের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর ঘটায় তাহা হইলে উহার লীনতাপ $=L=Q/m$ ক্যালরি প্রতি গ্রামে। অতএব **সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে, লীনতাপের একক 'ক্যালরি প্রতি গ্রামে' হইবে।**

(ii) **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে**—Q' পরিমাণ ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক তাপ যদি m' পাউণ্ড পদার্থের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া কেবলমাত্র উহার অবস্থান্তর ঘটায় তাহা হইলে উহার লীনতাপ $=L'=Q'/m'$ বৃ. থা. এ. প্রতি পাউণ্ডে। অতএব, **এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে, লীনতাপের একক 'ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক প্রতি পাউণ্ডে' হইবে।**

(iii) **দুই এককের পারস্পরিক সম্বন্ধ** :—Q' বৃ. থা. এ. $=Q'\times 252$ ক্যালরি এবং m' পাউণ্ড $=m\times 453{\cdot}6$ গ্রাম। কিন্তু সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে,

$$\text{লীনতাপ}=L=\frac{\text{ক্যালরিতে তাপের পরিমাণ }(Q)}{\text{গ্রামে ভরের পরিমাণ }(m)}=\frac{Q'\times 252}{m'\times 453{\cdot}6}=\frac{Q'}{m'\times 1{\cdot}8}$$

কিন্তু $Q'/m'=$ এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে লীনতাপের একক $=L'$। অতএব,
$L=L'/1{\cdot}8$; অথবা, $L'=L\times 1{\cdot}8$ ... ... (4-2*b*)

4-3. দুইপ্রকার লীনতাপ (Two kinds of latent heats) : পদার্থের অবস্থান্তর দুইভাবে হইতে পারে, যথা—(1) কঠিন$\rightleftharpoons$তরল (নিম্ন অবস্থান্তর) এবং (2) তরল$\rightleftharpoons$বাষ্প (উচ্চ অবস্থান্তর)।

(1) নিম্ন অবস্থান্তরের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহাকে গলনের লীনতাপ (latent heat of fusion) কিংবা কঠিনীভবনের লীনতাপ (latent heat of solidification) বলে। নির্দিষ্ট পদার্থের ক্ষেত্রে এই দুই লীনতাপেরই পরিমাণ সমান।

সংজ্ঞা :—একক ভরের (এক গ্রাম কিংবা এক পাউণ্ড) পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, উহাকে কঠিন হইতে তরলে কিংবা তরল হইতে কঠিনে পরিণত করিতে যথাক্রমে যে পরিমাণ তাপ (ক্যালরিতে কিংবা বৃ. থা. এককে) প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে পদার্থের **গলনের** কিংবা **কঠিনীভবনের লীনতাপ** বলে।

উদাহরণ :—'বরফ গলনের লীনতাপ কিংবা জলের কঠিনীভবনের লীনতাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে (অথবা, $1{\cdot}8 \times 80 = 144$ বৃ. থা. একক প্রতি পাউণ্ডে)'। এই উক্তি দ্বারা আমরা বুঝি যে, এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 0°C উষ্ণতার বরফকে ঐ উষ্ণতায় জলে পরিণত করিতে উহার উপর 80 ক্যালরি (অথবা 144 বৃ. থা. এ.) তাপ প্রয়োগ করিতে হয়। আবার এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 0°C উষ্ণতার জলকে ঐ উষ্ণতায় বরফে পরিণত করিতে উহা হইতে 80 ক্যালরি (অথবা, 144 বৃ. থা. এ.) তাপ নিষ্কাশন করিতে হয়। অতএব দেখা যাইতেছে যে, জল 0°C উষ্ণতায় আসিলেই উহা বরফে পরিণত হয় না। 0°C উষ্ণতার প্রতি গ্রাম জল হইতে 80 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিলে উহা বরফে পরিণত হইবে। 0°C উষ্ণতার এক গ্রাম জল ও বরফ লইলে জল অপেক্ষা বরফে 80 ক্যালরি তাপ কম থাকিবে। এজন্য কোন বস্তু ঠাণ্ডা রাখিতে 0°C উষ্ণতার বরফ বেশী ফলপ্রদ।

(2) উচ্চ অবস্থান্তরের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহাকে বাষ্পিভবনের লীনতাপ (latent heat of vaporisation) কিংবা ঘনীভবনের লীনতাপ (latent heat of condensation) বলে। নির্দিষ্ট পদার্থের ক্ষেত্রে এই দুই লীনতাপেরই পরিমাণ সমান।

সংজ্ঞা :—একক ভরের (এক গ্রাম কিংবা এক পাউণ্ড) পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তন না করিয়া, উহাকে তরল হইতে বাষ্পে কিংবা বাষ্প হইতে তরলে পরিণত করিতে যথাক্রমে যে পরিমাণ তাপ (ক্যালরিতে কিংবা বৃ. থা. এককে) প্রয়োগ কিংবা নিষ্কাশন করিতে হয় তাহাকে পদার্থের **বাষ্পীভবনের কিংবা ঘনীভবনের লীনতাপ** বলে।

উদাহরণ :—'জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ কিংবা স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ প্রায় 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে (অথবা, $1{\cdot}8 \times 540 = 972$ বৃ. থা. এ. প্রতি পাউণ্ডে)'। এই উক্তি দ্বারা আমরা বুঝি যে, এক গ্রাম (অথবা এক পাউণ্ড) 100°C উষ্ণতার জলকে ঐ উষ্ণতায় বাষ্পে পরিণত করিতে উহার উপর 540 ক্যালরি (অথবা, 972 বৃ. থা. এ.) তাপ প্রয়োগ করিতে হয়। আবার এক গ্রাম (অথবা, এক পাউণ্ড) 100°C উষ্ণতার স্টীমকে ঐ উষ্ণতায় জলে পরিণত করিতে 540 ক্যালরি (অথবা, 972 বৃ. থা. এ.) তাপ নিষ্কাশন করিতে হয়। অতএব 100°C উষ্ণতার এক গ্রাম জল ও স্টীম হইলে জল অপেক্ষা স্টীমে 540 ক্যালরি তাপ বেশী থাকিবে। এজন্য কোন বস্তুকে 100°C উষ্ণতার স্টীমের মধ্যে রাখিলে উহা যেরূপ তাপ পায়, 100°C উষ্ণতার

জলের মধ্যে রাখিলে উহা কম তাপ পায়। কাজেই 100°C উষ্ণতার জলের সংস্পর্শে হাত যেরূপ পুড়িবে, ঐ উষ্ণতার স্টীমের সংস্পর্শে হাত অনেক বেশী পুড়িয়া যাইবে।

4-4. বরফ-গলনের লীনতাপ নির্ণয় (Determination of the latent heat of fusion of ice) ঃ (i) এই পরীক্ষার জন্য, প্রথমে সাধারণ তুলায় একটি শুষ্ক ও শূন্য ক্যালরিমিটারের ভর ($=m_1$ গ্রাম) আলোড়কসহ নির্ণয় করা হইল [ক্যালরিমিটারকে 3.1 নং চিত্রে দেখানো হইয়াছে]। পরে ক্যালরিমিটারের মধ্যে ঘরের উষ্ণতায় ($=t_1$°C) কিছু জল লইয়া উভয়ের ভর (m_1+m) গ্রাম লওয়া হইল। সুতরাং ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ জলের ভর এবং উষ্ণতা যথাক্রমে m গ্রাম এবং t_1°C।

(ii) কয়েক টুকরা বিশুদ্ধ বরফ লইয়া উহাদের গায়ের জল একখণ্ড পরিষ্কার ব্লটিং কাগজ দ্বারা শোষণ করানো হইল। এই শুষ্ক বরফের টুকরাগুলিকে দ্রুত ক্যালরিমিটারের মধ্যে ফেলিয়া, আলোড়কের সাহায্যে উহাদিগকে জলের নীচে রাখা হইল। সমস্ত বরফ গলিয়া যাইবার পর জল যে নিম্নতম উষ্ণতায় ($=t$°C) আসিল তাহা ক্যালরিমিটারের জলে ডুবানো থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে (3.1 নং চিত্র দেখ) জানিয়া লওয়া হইল।

(iii) যখন ক্যালরিমিটার তাহার জলসমেত পুনরায় ঘরের উষ্ণতায় আসিল তখন উহাদের একত্রের ওজন [($M+m+m_1$) গ্রাম] হইতে ক্যালরিমিটার এবং উহার মধ্যস্থ ঘরের উষ্ণতার জলের ওজন [($m+m_1$) গ্রাম] বিয়োগ করিলে মিশ্রিত বরফের ভর M গ্রাম পাওয়া যাইবে।

(iv) যদি বরফ-গলনের লীনতাপ L হয় তাহা হইলে 0°C উষ্ণতার M গ্রাম বরফকে গলাইয়া 0°C উষ্ণতার জলে আনিতে এবং ঐ জলকে t°C উষ্ণতায় তুলিতে গৃহীত তাপের পরিমাণ$=(ML+Mt)$ ক্যালরি। আবার ক্যালরিমিটার এবং তাহার মধ্যস্থ জল দ্বারা বর্জিত তাপ$=(m_1s_1+m)(t_1-t)$ ক্যালরি। যদি তাপ অন্য কোনভাবে নষ্ট না হয় তাহা হইলে, $M(L+t)=(m_1s_1+m)(t_1-t)$;

অথবা, $$L=\frac{(m_1s_1+m)(t_1-t)}{M}-t \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad (4\text{-}4a)$$

এখানে s_1 = ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ এবং m_1s_1 = ক্যালরিমিটারের জলসম। পরীক্ষা দ্বারা L-এর মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে $L=80$ ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

সতর্কতা :—(i) ক্যালরিমিটারের মধ্যে অল্প পরিমাণ বরফ যোগ করিতে হইবে যাহাতে উহার জলের নিম্নতম উষ্ণতা (t°C) বাতাসের শিশিরাঙ্কের নীচে না যায়।

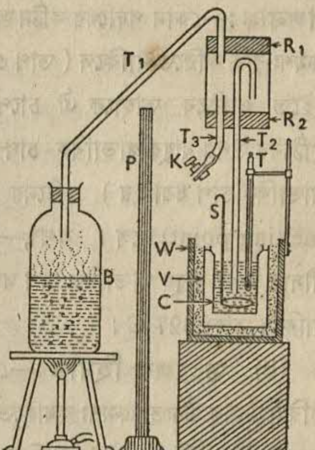
(ii) বরফকে জলের নীচে রাখিতে হইবে যাহাতে উহার গলনের সময় বাহিরের বাতাস হইতে তাপ সংগ্রহ করিতে না পারে।

(iii) ক্যালরিমিটারের মধ্যে শুষ্ক বরফ ফেলিতে হইবে যাহাতে বরফের গায়ে কোন জল না থাকে।

(iv) বরফকে ক্যালরিমিটারের মধ্যে আস্তে ফেলিতে হইবে যাহাতে উহার জল ছিটকাইয়া বাহিরে না আসে।

4-5. স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ নির্ণয় (Determination of the latent heat of condensation of steam) ঃ (i) প্রথমে শূন্য এবং শুষ্ক ক্যালরিমিটারের (C) ভর ($=m_1$ গ্রাম) একটি সাধারণ তুলা দ্বারা লইয়া উহার প্রায় অর্ধেকটায় ঘরের উষ্ণতার জল লইয়া উহাদের উভয়ের ভর ($m+m_1$) লওয়া হইল। সুতরাং গৃহীত জলের ভর m গ্রাম এবং উহার উষ্ণতা থার্মোমিটারের (T) সাহায্যে লওয়া লওয়া হইল যাহার মান t_1°C। যদি ক্যালরিমিটারের আপেক্ষিক তাপ s_1 হয় তাহা হইলে উহার জলসম হইবে $m_1 s_1$ গ্রাম।

(ii) বয়লারের (B) ফুটন্ত জল হইতে উত্থিত স্টীম T_1 নল এবং স্টীম-ট্র্যাপের ($R_1 R_2$) মধ্য দিয়া আনিয়া T_2 নলের সাহায্যে ঐ স্টীমকে ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে ততক্ষণই চালনা করা হইল যতক্ষণ না জলের উষ্ণতা প্রায় 10°C বৃদ্ধি পায়। ক্যালরিমিটারের জলে স্টীম চালনা বন্ধ করিয়া উহার উচ্চতম উষ্ণতা (t°C) থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে জানিয়া লওয়া হইল। বিভিন্ন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন কমাইবার জন্য ক্যালরিমিটারকে (C) একটি তামার পাত্রের (V) মধ্যে ঝুলাইয়া রাখিয়া ঐ পাত্রকে (V) একটি কাঠের বাক্সের (W) মধ্যে রাখা আছে [4.1নং চিত্র]।



চিত্র 4.1 ঃ স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ নির্ণয়

(iii) ক্যালরিমিটার, উহার মধ্যস্থ জল এবং ঐ জলে ঘনীভূত স্টীম যখন ঘরের উষ্ণতায় আসিল তখন উহাদের সকলের ভর ($M+m+m_1$) গ্রাম লইয়া ঘনীভূত স্টীমের ভর M গ্রাম নির্ণয় করা হইল।

(iv) স্টীমের উষ্ণতা যদি t_2°C হয় ($t_2=100$°C প্রায়) তাহা হইলে t_2°C উষ্ণতার স্টীম, t_2°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইতে এবং ঐ জল পুনরায় t°C উষ্ণতায় আসিতে যে তাপ বর্জন করিবে তাহার পরিমাণ হইবে, $H_1=ML+M(t_2-t)$ ক্যালরি। এখানে $L=$ স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ কিংবা জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ। ক্যালরিমিটার এবং তাহার মধ্যস্থ m গ্রাম জল (যাহার উষ্ণতা ছিল t_1°C) t°C উষ্ণতায়

আসিতে যে তাপ গ্রহণ করিল তাহার পরিমাণ হইবে $H_2=(m_1s_1+m)(t-t_1)$ ক্যালরি। অন্য কোন উপায়ে তাপ নষ্ট না হইলে $H_1=H_2$।

অথবা, $ML+M(t_2-t)=(m_1s_1+m)(t-t_1)$

অথবা, $L=\dfrac{(m_1s_1+m)(t-t_1)}{M}-(t_2-t)$ ... (4-5a)

4-5(a) সমীকরণের সাহায্যে স্টীমের ঘনীভবনের লীনতাপ নির্ণয় করা হয়।

সতর্কতা :—(i) জলের মধ্যে কেবলমাত্র শুষ্ক স্টীমই চালনা করিতে হইবে। এজন্য স্টীম-ট্র্যাপের সাহায্য লওয়া হয়।

(ii) ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে দ্রুত স্টীম চালনা করিয়া খুব অল্প সময়ে উহার উষ্ণতা প্রায় 10°C তুলিতে হইবে যাহাতে ঐ অল্প সময়ের মধ্যে ক্যালরিমিটার হইতে খুব কম তাপ বিকিরণ দ্বারা নষ্ট হয়।

(iii) অন্যান্য সতর্কতার জন্য 3-3 পরিচ্ছেদের (2) নং অনুচ্ছেদ দেখ।

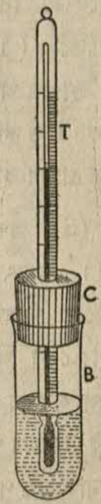
4-6. কঠিনের গলনাঙ্ক কিংবা তরলের হিমাঙ্ক (Melting point of a solid or freezing point of a liquid) : (a) (i) **কঠিনের গলনাঙ্ক** :—কোন পদার্থের কঠিন অবস্থার উপর নির্দিষ্ট চাপ প্রয়োগ করিয়া, উহার উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি করিতে থাকিলে (তাপ প্রয়োগ দ্বারা) যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় উহা তরলে পরিণত হইতে থাকিবে তাহাকে ঐ চাপে কঠিনের **গলনাঙ্ক** (melting point) বলে। কঠিনের উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকিলে (76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপকে বায়ুর স্বাভাবিক চাপ ধরা হয়) কঠিনের ঐ গলনাঙ্ককে **স্বাভাবিক গলনাঙ্ক** (normal melting point) বলে। **যথা**,—'সীসার গলনাঙ্ক 327°C' বলিতে আমরা বুঝি যে সীসার উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকিলে উহা যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলে পরিণত হইতে থাকিবে তাহা 327°C।

(ii) **তরলের হিমাঙ্ক** :—কোন পদার্থের তরলের উপর নির্দিষ্ট চাপ প্রয়োগ করিয়া উহার উষ্ণতা ক্রমশঃ কমাইতে থাকিলে (তাপ নিষ্কাশন দ্বারা) যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরল কঠিনে পরিণত হইতে থাকিবে তাহাকে ঐ চাপে **তরলের হিমাঙ্ক** (freezing point) বলে। তরলের উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকিলে তরলের ঐ হিমাঙ্ককে **স্বাভাবিক হিমাঙ্ক** (normal freezing point) বলে। **যথা**,—'জলের হিমাঙ্ক 0°C' বলিতে আমরা বুঝি যে জলের উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকিলে উহা যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বরফে পরিণত হইতে থাকিবে তাহা 0°C।

কোন নির্দিষ্ট পদার্থের ক্ষেত্রে উহার গলনাঙ্ক এবং হিমাঙ্ক একই উষ্ণতা নির্দেশ করে। যথা, জলের হিমাঙ্ক এবং বরফের গলনাঙ্ক একই উষ্ণতা 0°C হইবে।

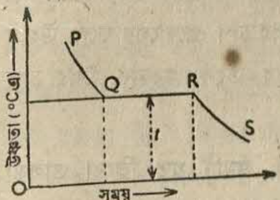
(b) **কঠিনের গলনাঙ্ক নির্ণয় :**—(i) যে কঠিনের গলনাঙ্ক নির্ণয় করিতে হইবে

তাহার ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র টুকরা দ্বারা একটি টেস্ট-টিউবের-(B) প্রায় অর্ধেকটা ভর্তি করিয়া ঐ টেস্ট-টিউবের মুখ একটি থার্মোমিটারযুক্ত (T) ছিপি (C) দ্বারা বন্ধ করা হইল [4.2 নং চিত্র]। এই টেস্ট-টিউবকে কোন উষ্ণ তরলের (জল কিংবা তৈল যাহার স্ফুটনাঙ্ক কঠিনের গলনাঙ্ক অপেক্ষা বেশী) মধ্যে আংশিক ডুবাইয়া কঠিনকে তরলে পরিণত করার পরও উহার উষ্ণতা প্রায় 10°C বৃদ্ধি করা হইল।



চিত্র 4.2 : কঠিনের গলনাঙ্ক নির্ণয়

(ii) টেস্ট-টিউবসমেত তরলীকৃত কঠিনকে একটি নির্দিষ্ট প্রকোষ্ঠের মধ্যে রাখিয়া উহাকে বিকিরণ দ্বারা ঠাণ্ডা করা হইতে থাকিল। প্রতি আধ মিনিট পর পর তরলের উষ্ণতা থার্মোমিটার T-এর সাহায্যে জানিয়া লওয়া হইতে থাকিল, যতক্ষণ না সমস্ত তরল কঠিন হইবার পরও ঐ কঠিনের উষ্ণতা প্রায় 5°C কমিয়া যায়।



চিত্র 4.3 : (সময়-উষ্ণতা) লেখচিত্র

(iii) একটি ছক কাগজে সময়কে ভুজ (abscissa) ধরিয়া এবং ঐ সময়ে পদার্থের উষ্ণতাকে কোটি (ordinate) ধরিয়া একটি লেখচিত্র ($PQRS$) টানিলে ঐ লেখচিত্রের QR অংশ সময়ের সমান্তরাল হইবে [4.3 নং চিত্র]। ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে তরল যতক্ষণ ঘনীভূত হইতে থাকে ততক্ষণ উহার উষ্ণতা স্থির থাকে ($=t$°C) এবং এই স্থির উষ্ণতাই ($=t$°C) তরলের হিমাঙ্ক কিংবা কঠিনের গলনাঙ্ক হইবে।

4-7. কঠিনের গলনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব

(Influence of pressure on the melting point of a Solid) : (a) (i) দুই-শ্রেণীর কঠিন পদার্থ পাওয়া যায় যাহাদের একশ্রেণীর কঠিনের আয়তন (v_s) বেশী কিন্তু উহার তরলের আয়তন (v_l) কম। অর্থাৎ, $v_s > v_l$। এই প্রকার কঠিনের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ চাপ কঠিনের আয়তন কমাইতে চেষ্টা করিবে যাহা কঠিনকে তরল অবস্থায় যাইতে সাহায্য করিবে ($\because \; v_l < v_s$)। এজন্য কঠিন তাহার স্বাভাবিক গলনাঙ্কের পূর্বেই কম উষ্ণতায় তরলে পরিণত হইতে থাকিবে। অর্থাৎ চাপে এই শ্রেণীর কঠিনের গলনাঙ্ক কমিয়া যাইবে। বিপরীত পক্ষে, এই শ্রেণীর কঠিনের তরল অবস্থার উপর চাপ প্রয়োগ করিলেও ঐ তরলের হিমাঙ্ক স্বাভাবিক হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম হইবে।

উদাহরণ : বরফ, ঢালাই লোহা, বিস্মাথ, টাইপ-মেটেল (তামা, সীসা ও অ্যান্টিমনির সংকর) প্রভৃতি কঠিনের ক্ষেত্রে এইরূপ দেখা যায়। পরীক্ষা দ্বারা জানা

গিয়াছে যে, বরফের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপের দ্বিগুণ চাপ রাখিলে উহার গলনাঙ্ক 0°C হইতে নামিয়া ·0073°C হয়। আবার 12 সি. সি. বরফ, 0°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইলে 11 সি. সি. হয়। এই কারণে বরফ 0°C উষ্ণতার জলে ভাসে এবং উহার আয়তনের (1/12) অংশ জলের উপরে থাকে।

ছাপার অক্ষর প্রস্তুত করিতে টাইপ মেটেল গলাইয়া ছাঁচের মধ্যে ঢালা হয়। এই সংকর ধাতু কঠিন হইলে, উহার আয়তন বৃদ্ধির জন্য ছাঁচের আনাচে-কানাচের মধ্যে ঐ ধাতু প্রবেশ করিয়া অক্ষরগুলিকে নিখুঁত আকার দেয়।

(ii) অপর শ্রেণীর কঠিনের আয়তন (v_s) উহার তরলের আয়তন (v_l) অপেক্ষা কম। অর্থাৎ $v_l > v_s$। এই প্রকার কঠিনের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ চাপ কঠিনের আয়তন কমাইবার চেষ্টা করিবে কিন্তু কঠিনকে তরল অবস্থায় যাইতে হইলে উহার বেশী আয়তনের প্রয়োজন হইবে। সুতরাং কঠিনের উপর প্রযুক্ত চাপ উহাকে তরল অবস্থায় যাইতে বাধা দিবে। ইহার ফলে কঠিন তাহার স্বাভাবিক গলনাঙ্ক অপেক্ষা বেশী উষ্ণতায় তরল হইতে থাকিবে। অর্থাৎ কঠিনের উপর চাপ প্রয়োগের ফলে উহার গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে। বিপরীতপক্ষে, এই শ্রেণীর কঠিনের তরল অবস্থার উপর চাপ প্রয়োগ করিলেও ঐ তরলের হিমাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে।

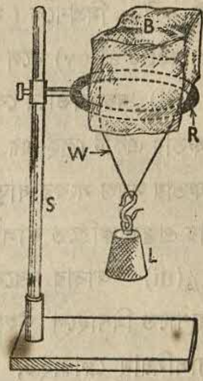
উদাহরণ :—চর্বিজাতীয় কঠিন পদার্থ, যেমন মোম, জমাট ঘৃত কিংবা ডালডা প্রভৃতি কঠিনের আয়তন (v_s) উহার তরলের আয়তন (v_l) অপেক্ষা কম হয়। অর্থাৎ $v_s < v_l$। এই সব কঠিনের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের গলনাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে। বিপরীত পক্ষে এই শ্রেণীর পদার্থের তরলের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের হিমাঙ্ক স্বাভাবিক হিমাঙ্ক অপেক্ষা বেশী হইবে।

(*b*) **চাপ প্রয়োগে বরফের গলনাঙ্ক-হ্রাস দেখাইবার পরীক্ষা** : (i) দুই টুকরা 0°C উষ্ণতার বরফ একটি গামছার মধ্যে লইয়া কিছুক্ষণ চাপিয়া রাখিলে, উহাদের চাপ-প্রাপ্ত অংশের বরফের গলনাঙ্ক কমিয়া যাওয়ায় ঐ বরফ জলে পরিণত হইবে। এই বরফ-গলা জলকে চাপ মুক্ত করিলে উহা পুনরায় বরফে পরিণত হইয়া ঐ দুই টুকরা বরফকে জুড়িয়া একটি বড় বরফের টুকরা গঠন করিবে।

বরফের উপর চাপ প্রয়োগ দ্বারা উহাকে জলে পরিণত করা এবং ঐ জলকে চাপ-মুক্ত করিয়া পুনরায় বরফে পরিণত করাকে **পুনঃশিলীভবন** বা **রিজিলেশন** (regelation) বলে।

(ii) **বটম্‌লের পরীক্ষা** (Bottomley's experiment) :—এই পরীক্ষা দ্বারা, চাপে বরফের যে গলনাঙ্ক-হ্রাস হয় তাহা সুন্দরভাবে দেখান যায়। একটি অনুভূমিক রিং-এর (R) উপর একখণ্ড বরফ (B) বসাইয়া উহার উপরতলে একটি সরু তামার তার

(W) স্থাপন করা হইল [4.4নং চিত্র]। তামার তারের দুই প্রান্ত রিং-এর মধ্য দিয়া গলাইয়া লইয়া ঐ দুই প্রান্তের সহিত একটি ভারী ওজন (L) বাঁধিয়া দিলে, তারটি ধীরে ধীরে বরফের মধ্য দিয়া নীচে নামিয়া যাইবে এবং অবশেষে ওজন সমেত নীচে পড়িয়া যাইবে কিন্তু বরফ দ্বিখণ্ডিত হইবে না।



চিত্র 4.4 : বটম্‌লের পরীক্ষা

ব্যাখ্যা :—ভারী ওজন, তারকে নীচের দিকে টানায়, তারের ঠিক নীচের বরফের উপর চাপ পড়িবে। এই চাপ-প্রাপ্ত বরফের (যাহা 0°C-এ আছে) গলনাঙ্ক 0°C-এর নীচে নামিবে কাজেই ঐ বরফ গলিয়া জল হইবে যাহা তারের উপরে জমা হইবে। এই বরফ গলনের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন তাহা তারের চতুঃপার্শ্বস্থ বরফ হইতে সংগৃহীত হওয়ায় ঐ সব বরফের উষ্ণতা সামান্য কমিয়াও যায়। চাপমুক্ত জল 0°C-এর নীচে থাকায় ঐ জল পুনরায় বরফ হইবে এবং ইহার জন্য যে লীনতাপ মুক্ত হইবে তাহার কিছু অংশ চতুঃপার্শ্বস্থ বরফের উষ্ণতা 0°C-এ আনিবে এবং অবশিষ্ট অংশ তামার তারের মধ্যদিয়া পরিবাহিত হইয়া তারের নীচের বরফকে গলাইতে সাহায্য করিবে।

চাপমুক্ত জল বরফে পরিণত হওয়ার জন্য যে লীনতাপ মুক্ত হয় তাহা পরিবাহী তারের নীচের বরফের গলন দ্রুততর করে। কাজেই তারটির তাপ-পরিবাহিতা যত বেশী হইবে বরফ কাটার কাজ তত দ্রুত হইবে। এই কারণে তামার তার অপেক্ষা লোহার তারে এই কাজ ধীরে হয় এবং সূতার দ্বারা এই কাজ প্রায় হয়ই না।

4-8. বিশুদ্ধ পদার্থের গলনাঙ্কের (কিংবা হিমাঙ্কের) উপর মিশ্রিত অশুদ্ধির প্রভাব : (*a*) (i) দুই বা ততোধিক বিশুদ্ধ ধাতু মিশাইলে যে মিশ্রণ প্রস্তুত হয় তাহাকে সংকর ধাতু বলে। এই সংকর ধাতুর গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক উহার মধ্যস্থ প্রত্যেকটি ধাতুর গলনাঙ্ক বা হিমাঙ্ক হইতে ভিন্ন হয়। **যথা**—ধরা যাক বেশীর ভাগ টিনের (শতকরা 90 ভাগ) সহিত কম ভাগ সীসা (শতকরা 10 ভাগ) মিশাইয়া একটি সংকর ধাতু প্রস্তুত করা হইল। এই সংকর ধাতুকে তরলে পরিণত করিয়া ঐ তরলকে ক্রমশঃ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে যে উষ্ণতায় (210°C) বেশী পরিমাণে অবস্থিত ধাতু (এখানে টিন) প্রথমে কঠিন অবস্থায় আসে, সেই উষ্ণতা (210°C) ঐ মিশ্রিত তরলের হিমাঙ্ক হইবে। মিশ্রণকে আরও ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে আরও বেশী পরিমাণ টিন কঠিন অবস্থায় আসিবে। যখন দুই ধাতুর শতকরা অনুপাত একটি নির্দিষ্ট মানে আসিবে (টিন 63% এবং সীসা 37%) তখন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (183°C) সমস্ত মিশ্রণ একসঙ্গে কঠিনে পরিণত হইবে। এই

উষ্ণতাকে (183°C) **ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা** (**eutectic temperature**) বলে যাহা দুই ধাতুর গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম (টিনের গলনাঙ্ক 232°C এবং সীসার গলনাঙ্ক 327°C)। এই কঠিন মিশ্রণকে (যাহার উষ্ণতা=ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা) **ইউটেক্‌টিক মিশ্রণ** (**eutectic alloy**) বলে।

(ii) অনুরূপভাবে কোন কঠিন সংকর ধাতুকে ক্রমশঃ গরম করিতে থাকিলে উহা নিম্ন উষ্ণতায় একটি লেই-এর মত হয় এবং পরে উহার উষ্ণতা আরও বাড়াইলে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সমস্ত সংকর ধাতুটির গলন হয়। এইরূপ সংকর ধাতু, বৈদ্যুতিক লাইনের ফিউজ তার প্রস্তুত করিতে ঝালাই করিবার জন্য রাংঝাল প্রস্তুত করিতে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(iii) আবার বরফের সহিত সাধারণ লবণ (উভয়েই কঠিন), ভরের 9 : 2 অনুপাতে মিশাইলে উহাদের নিম্নতম উষ্ণতা হয় প্রায়—21°C এবং বরফের সহিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড, ভরের 7 : 3 অনুপাতে মিশাইলে ঐ মিশ্রণের নিম্নতম উষ্ণতা প্রায়—55°C হয়। এইরূপ মিশ্রণকে **হিমমিশ্র** (freezing mixture) বলে। ইহা বস্তুকে ঠাণ্ডা রাখিতে কিংবা পচনশীল বস্তুর (যেমন মাছ) সংরক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

(*b*) বিশুদ্ধ তরলের একটি নির্দিষ্ট হিমাঙ্ক (**freezing point**) থাকে। কিন্তু ঐ তরলের মধ্যে কোনও পদার্থ দ্রবীভূত থাকিলে ঐ দ্রবণের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ তরলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়। দ্রবণের হিমাঙ্কের মান, দ্রাব্য বস্তু ও দ্রাবকের পরিমাণের অনুপাতের উপর নির্ভর করে। **যথা**—বিশুদ্ধ জলে সাধারণ লবণ দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণকে ক্রমশঃ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে (হিমমিশ্রের সাহায্যে) যে উষ্ণতায় প্রথম বরফ দেখা দিবে, সেই উষ্ণতাই ঐ দ্রবণের হিমাঙ্ক হইবে।

দ্রবণের উষ্ণতা আরও কমাইতে থাকিলে আরও জল বরফ হইবে এবং দ্রবণে লবণের ভাগ বাড়িতে থাকিবে। যখন দ্রবণের উষ্ণতা প্রায় −21°C-এ আসিবে তখন দ্রবণ সম্পূর্ণভাবে কঠিনে পরিণত হইবে। এই অবস্থায়, ঘনীভূত কঠিনের মধ্যে বরফ এবং লবণের ভরের অনুপাত প্রায় 9 : 2। যে নিম্নতম উষ্ণতায় (−21°C) সম্পূর্ণ দ্রবণ কঠিনে পরিণত হইল তাহাকে দ্রবণের **ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা** বলে এবং এই কঠিন মিশ্রণকে **ইউটেক্‌টিক মিশ্রণ** বলে।

4·9. বাষ্প এবং বাষ্পচাপ (Vapour and vapour pressure) :

(*a*) বাষ্প :—কোন তরলের বায়বীয় অবস্থাকে ঐ তরলের **বাষ্প** বলে। সাধারণতঃ যে সব পদার্থ ঘরের উষ্ণতায় তরল থাকে এবং যাহাদের স্ফুটনাঙ্ক ঘরের উষ্ণতার প্রায় কাছাকাছি সেই সব তরলের বায়বীয় অবস্থাকে **বাষ্প** বলে। যেমন, জল, অ্যালকোহল, ইথার প্রভৃতি ঘরের উষ্ণতায় তরল থাকায় এবং ইহাদের স্ফুটনাঙ্ক (যথাক্রমে 100°C, 78°C এবং 35°C) ঘরের উষ্ণতার কাছাকাছি থাকায় উহাদের বায়বীয় অবস্থাকে **বাষ্প** বলে

আবার যে সব পদার্থ অতি নিম্ন উষ্ণতায় তরল থাকে এবং যাহাদের স্ফুটনাঙ্ক ঘরের উষ্ণতার অনেক নীচে, তাহাদের বায়বীয় অবস্থাকে **গ্যাস** বলে। যেমন হাইড্রোজেন, বাতাস, অক্সিজেন প্রভৃতি অনেক নিম্ন-উষ্ণতায় তরল অবস্থায় থাকে এবং ইহাদের স্ফুটনাঙ্কও (যথাক্রমে, −253°C, −190°C এবং −183°C) ঘরের উষ্ণতার অনেক নীচে। এজন্য ঘরের উষ্ণতায় ঐ সব পদার্থের বায়বীয় অবস্থাকে **গ্যাস** বলে।

(*b*) **বাষ্পচাপ** :—কোন আবদ্ধ পাত্রে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কিছু তরল লইলে উহার উপরতল হইতে কিছু অণু বাহিরে আসিয়া ইতস্তত ছোটাছুটি করিতে থাকে। এইরূপ ছোটাছুটি করার সময় অণুগুলি যখন পাত্রের গায়ে ধাক্কা দেয় তখন পাত্রটির উপর যে চাপ পড়ে তাহাকে ঐ তরলের **বাষ্পচাপ** (vapour-pressure) বলে।

অণুগুলির ছোটাছুটি করার সময় উহাদের কিছু সংখ্যা যখন তরলের উপরতলকে আঘাত করে তখন তরল ঐ অণুগুলিকে আকর্ষণ করিয়া তরলের মধ্যে লইয়া যায়। প্রথমে তরল হইতে নির্গত অণুর সংখ্যার হার, তরলে প্রবিষ্ট অণুর সংখ্যার হার অপেক্ষা বেশী থাকে। ইহার ফলে তরলের উপরে তরলের বাষ্পের পরিমাণ এবং উহার চাপ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে। যখন তরল হইতে নির্গত অণুর সংখ্যার হার এবং তরলের মধ্যে প্রবিষ্ট অণুর সংখ্যার হার সমান হয় তখন পাত্রের মধ্যস্থ বাষ্পের পরিমাণ এবং চাপ সর্বোচ্চ হয়। এই বাষ্পকে **সংপৃক্ত বাষ্প** (saturated vapour) বলে এবং উহার চাপকে **সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ** (saturated vapour-pressure) বলে। তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সংপৃক্ত বাষ্পের চাপও বৃদ্ধি পায় কিন্তু ঐ বাষ্পের আয়তনের পরিবর্তনে চাপের কোন পরিবর্তন হয় না (যতক্ষণ সংপৃক্ত বাষ্প তরলের সংস্পর্শে থাকে)। এই বাষ্প গ্যাসের সূত্রগুলি মানিয়া চলে না।

তরলের উপরিস্থিত স্থান উহার বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবার পূর্বে ঐ স্থানের মধ্যে যে পরিমাণ বাষ্প থাকে তাহা সংপৃক্ত অবস্থার বাষ্প অপেক্ষা কম। এই বাষ্পকে **অসংপৃক্ত বাষ্প** (unsaturated vapour) বলে এবং ইহার চাপকে **অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ** (unsaturated vapour-pressure) বলে। অসংপৃক্ত বাষ্প, গ্যাসের সূত্রগুলি মোটামুটি মানিয়া চলে যতক্ষণ না উহা সংপৃক্ত হয়।

4·10. বাষ্পীভবন (Vaporisation) : কোন তরলকে বাষ্পে পরিণত করার পদ্ধতিকে **বাষ্পীভবন** বলে এবং ইহার বিপরীত প্রক্রিয়াকে, অর্থাৎ বাষ্পকে তরলে পরিণত করাকে **ঘনীভবন** বলে। বাষ্পীভবন তিন উপায়ে সম্পন্ন হইতে পারে, যথা,—(i) বাষ্পায়ন (evaporation), (ii) স্ফুটন (boiling) এবং (iii) ঊর্ধ্বপাতন (sublimation)।

(i) **বাষ্পায়ন** :—যে পদ্ধতিতে, তরল সব উষ্ণতায়, কেবলমাত্র তাহার উপরতল হইতে মন্থরগতিতে বাষ্পে পরিণত হয়, তাহাকে **বাষ্পায়ন** বলে।

উষ্ণতাকে (183°C) **ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা** (eutectic temperature) বলে যাহা দুই ধাতুর গলনাঙ্ক অপেক্ষা কম (টিনের গলনাঙ্ক 232°C এবং সীসার গলনাঙ্ক 327°C)। এই কঠিন মিশ্রণকে (যাহার উষ্ণতা=ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা) **ইউটেক্‌টিক মিশ্রণ** (eutectic alloy) বলে।

(ii) অনুরূপভাবে কোন কঠিন সংকর ধাতুকে ক্রমশঃ গরম করিতে থাকিলে উহা নিম্ন উষ্ণতায় একটি লেই-এর মত হয় এবং পরে উহার উষ্ণতা আরও বাড়াইলে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় সমস্ত সংকর ধাতুটির গলন হয়। এইরূপ সংকর ধাতু, বৈদ্যুতিক লাইনের ফিউজ তার প্রস্তুত করিতে ঝালাই করিবার জন্য রাংঝাল প্রস্তুত করিতে ব্যবহৃত হইয়া থাকে।

(iii) আবার বরফের সহিত সাধারণ লবণ (উভয়েই কঠিন), ভরের 9 : 2 অনুপাতে মিশাইলে উহাদের নিম্নতম উষ্ণতা হয় প্রায়—21°C এবং বরফের সহিত ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড, ভরের 7 : 3 অনুপাতে মিশাইলে ঐ মিশ্রণের নিম্নতম উষ্ণতা প্রায়—55°C হয়। এইরূপ মিশ্রণকে **হিমমিশ্র** (freezing mixture) বলে। ইহা বস্তুকে ঠাণ্ডা রাখিতে কিংবা পচনশীল বস্তুর (যেমন মাছ) সংরক্ষণের জন্য ব্যবহৃত হয়।

(*b*) বিশুদ্ধ তরলের একটি নির্দিষ্ট হিমাঙ্ক (freezing point) থাকে। কিন্তু ঐ তরলের মধ্যে কোনও পদার্থ দ্রবীভূত থাকিলে ঐ দ্রবণের হিমাঙ্ক বিশুদ্ধ তরলের হিমাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়। দ্রবণের হিমাঙ্কের মান, দ্রাব্য বস্তু ও দ্রাবকের পরিমাণের অনুপাতের উপর নির্ভর করে। **যথা**—বিশুদ্ধ জলে সাধারণ লবণ দ্রবীভূত করিয়া ঐ দ্রবণকে ক্রমশঃ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে (হিমমিশ্রের সাহায্যে) যে উষ্ণতায় প্রথম বরফ দেখা দিবে, সেই উষ্ণতাই ঐ দ্রবণের হিমাঙ্ক হইবে।

দ্রবণের উষ্ণতা আরও কমাইতে থাকিলে আরও জল বরফ হইবে এবং দ্রবণে লবণের ভাগ বাড়িতে থাকিবে। যখন দ্রবণের উষ্ণতা প্রায় −21°C-এ আসিবে তখন দ্রবণ সম্পূর্ণভাবে কঠিনে পরিণত হইবে। এই অবস্থায়, ঘনীভূত কঠিনের মধ্যে বরফ এবং লবণের ভরের অনুপাত প্রায় 9 : 2। যে নিম্নতম উষ্ণতায় (−21°C) সম্পূর্ণ দ্রবণ কঠিনে পরিণত হইল তাহাকে দ্রবণের **ইউটেক্‌টিক উষ্ণতা** বলে এবং এই কঠিন মিশ্রণকে **ইউটেক্‌টিক মিশ্রণ** বলে।

4·9. বাষ্প এবং বাষ্পচাপ (Vapour and vapour pressure) ঃ

(*a*) বাষ্প :—কোন তরলের বায়বীয় অবস্থাকে ঐ তরলের **বাষ্প** বলে। সাধারণতঃ যে সব পদার্থ ঘরের উষ্ণতায় তরল থাকে এবং যাহাদের স্ফুটনাঙ্ক ঘরের উষ্ণতার প্রায় কাছাকাছি সেই সব তরলের বায়বীয় অবস্থাকে **বাষ্প** বলে। যেমন, জল, অ্যালকোহল, ইথার প্রভৃতি ঘরের উষ্ণতায় তরল থাকায় এবং ইহাদের স্ফুটনাঙ্ক (যথাক্রমে 100°C, 78°C এবং 35°C) ঘরের উষ্ণতার কাছাকাছি থাকায় উহাদের বায়বীয় অবস্থাকে **বাষ্প** বলে

আবার যে সব পদার্থ অতি নিম্ন উষ্ণতায় তরল থাকে এবং যাহাদের স্ফুটনাঙ্ক ঘরের উষ্ণতার অনেক নীচে, তাহাদের বায়বীয় অবস্থাকে **গ্যাস** বলে। যেমন হাইড্রোজেন, বাতাস, অক্সিজেন প্রভৃতি অনেক নিম্ন-উষ্ণতায় তরল অবস্থায় থাকে এবং ইহাদের স্ফুটনাঙ্কও (যথাক্রমে, $-253°C$, $-190°C$ এবং $-183°C$) ঘরের উষ্ণতার অনেক নীচে। এজন্য ঘরের উষ্ণতায় ঐ সব পদার্থের বায়বীয় অবস্থাকে **গ্যাস** বলে।

(*b*) **বাষ্পচাপ** :—কোন আবদ্ধ পাত্রে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কিছু তরল লইলে উহার উপরতল হইতে কিছু অণু বাহিরে আসিয়া ইতঃস্তত ছোটাছুটি করিতে থাকে। এইরূপ ছোটাছুটি করার সময় অণুগুলি যখন পাত্রের গায়ে ধাক্কা দেয় তখন পাত্রটির উপর যে চাপ পড়ে তাহাকে ঐ তরলের **বাষ্পচাপ** (vapour-pressure) বলে।

অণুগুলির ছোটাছুটি করার সময় উহাদের কিছু সংখ্যা যখন তরলের উপরতলকে আঘাত করে তখন তরল ঐ অণুগুলিকে আকর্ষণ করিয়া তরলের মধ্যে লইয়া যায়। প্রথমে তরল হইতে নির্গত অণুর সংখ্যার হার, তরলে প্রবিষ্ট অণুর সংখ্যার হার অপেক্ষা বেশী থাকে। ইহার ফলে তরলের উপরে তরলের বাষ্পের পরিমাণ এবং উহার চাপ ক্রমশঃ বাড়িতে থাকে। যখন তরল হইতে নির্গত অণুর সংখ্যার হার এবং তরলের মধ্যে প্রবিষ্ট অণুর সংখ্যার হার সমান হয় তখন পাত্রের মধ্যস্থ বাষ্পের পরিমাণ এবং চাপ সর্বোচ্চ হয়। এই বাষ্পকে **সংপৃক্ত বাষ্প** (saturated vapour) বলে এবং উহার চাপকে **সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ** (saturated vapour-pressure) বলে। তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সংপৃক্ত বাষ্পের চাপও বৃদ্ধি পায় কিন্তু ঐ বাষ্পের আয়তনের পরিবর্তনে চাপের কোন পরিবর্তন হয় না (যতক্ষণ সংপৃক্ত বাষ্প তরলের সংস্পর্শে থাকে)। এই বাষ্প গ্যাসের সূত্রগুলি মানিয়া চলে না।

তরলের উপরিস্থিত স্থান উহার বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবার পূর্বে ঐ স্থানের মধ্যে যে পরিমাণ বাষ্প থাকে তাহা সংপৃক্ত অবস্থার বাষ্প অপেক্ষা কম। এই বাষ্পকে **অসংপৃক্ত বাষ্প** (unsaturated vapour) বলে এবং ইহার চাপকে **অসংপৃক্ত বাষ্পের চাপ** (unsaturated vapour-pressure) বলে। অসংপৃক্ত বাষ্প, গ্যাসের সূত্রগুলি মোটামুটি মানিয়া চলে যতক্ষণ না উহা সংপৃক্ত হয়।

4-10. বাষ্পীভবন (Vaporisation) : কোন তরলকে বাষ্পে পরিণত করার পদ্ধতিকে **বাষ্পীভবন** বলে এবং ইহার বিপরীত প্রক্রিয়াকে, অর্থাৎ বাষ্পকে তরলে পরিণত করাকে **ঘনীভবন** বলে। বাষ্পীভবন তিন উপায়ে সম্পন্ন হইতে পারে, যথা,—(i) বাষ্পায়ন (evaporation), (ii) স্ফুটন (boiling) এবং (iii) ঊর্ধ্বপাতন (sublimation)।

(i) **বাষ্পায়ন** :—যে পদ্ধতিতে, তরল সর্ব উষ্ণতায়, কেবলমাত্র তাহার উপরতল হইতে মন্থরগতিতে বাষ্পে পরিণত হয়, তাহাকে **বাষ্পায়ন** বলে।

তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে (যখন অন্যান্য অবস্থা স্থির থাকে) উহার বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পাইতে থাকে এবং এই হার সর্বোচ্চ হয় যখন তরলের উষ্ণতা উহার স্ফুটনাঙ্কে আসে।

(ii) **স্ফুটন** :—যে পদ্ধতিতে, তরল একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায়, তাহার সকল অংশ হইতে দ্রুতগতিতে বাষ্পে পরিণত হয় তাহাকে **স্ফুটন** বলে এবং যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয় তাহাকে তরলের **স্ফুটনাঙ্ক** বলে। সম্পূর্ণ তরল বাষ্পীভূত না হওয়া পর্যন্ত এই নির্দিষ্ট উষ্ণতা (যাহাকে স্ফুটনাঙ্ক বলে) স্থির থাকে। বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের মধ্যে যে সব পার্থক্য আছে তাহা উহাদের সংজ্ঞার মধ্যেই নিহিত আছে।

(iii) **ঊর্ধ্বপাতন** :—তাপ প্রয়োগ দ্বারা কোন কঠিন পদার্থকে সরাসরি বাষ্পে রূপান্তরিত করা এবং তাপ নিষ্কাশন দ্বারা ঐ বাষ্পকে সরাসরি কঠিন পদার্থে পরিণত করাকে **ঊর্ধ্বপাতন** বলে। নিশাদল, কর্পূর, আয়োডিন প্রভৃতি এইরূপ ধর্ম দেখাইয়া থাকে। একটি বদ্ধ নলের মধ্যস্থানের বাল্‌বে কিছু কর্পূর লইয়া উহাকে গরম করিলে উহা সরাসরি বাষ্পে পরিণত হইবে এবং নলের দুই শীতল প্রান্তে পুনরায় জমিয়া কঠিন কর্পূরে পরিণত হইবে।

4·11. বাষ্পায়নের হার প্রভাবিত করার বিষয়সমূহ (Factors influencing evaporation) : (i) **তরলের স্ফুটনাঙ্ক** :—যে তরলের স্ফুটনাঙ্ক, ঘরের উষ্ণতার যত কাছে থাকিবে তাহার বাষ্পীভবনের হার ঘরের উষ্ণতায় তত বেশী হইবে। যেমন, জল অপেক্ষা (স্ফুটনাঙ্ক 100°C) ইথারের (স্ফুটনাঙ্ক 35°C) বাষ্পীভবনের হার ঘরের উষ্ণতায় বেশী হইবে।

(ii) **তরলের উষ্ণতা** :—তরলের উষ্ণতা যত বৃদ্ধি পাইবে উহার বাষ্পীভবনের হার তত বেশী হইবে এবং তরলের স্ফুটনাঙ্কে উহার বাষ্পীভবনের হার সর্বোচ্চ হইবে। যেমন, ঘরের উষ্ণতায় জল যে হারে বাষ্পীভূত হইবে, 100°C উষ্ণতায় (যাহা জলের স্ফুটনাঙ্ক) ঐ জল সর্বোচ্চ হারে বাষ্পীভূত হইবে।

(iii) **তরলের উপরতলের ক্ষেত্রফল** :—যেহেতু বাষ্পীভবন তরলের কেবলমাত্র উপরতল হইতে হয় সেইহেতু তরলের উপরতলের ক্ষেত্রফল যত বেশী করা যাইবে উহার বাষ্পীভবনের হার তত বৃদ্ধি পাইবে। যেমন, এক কাপ গরম দুধ কাপে রাখিলে যে হারে বাষ্পীভূত হইবে উহাকে একটি অগভীর বড় থালায় ঢালিয়া দিলে আরও দ্রুত বাষ্পীভূত হইবে। বাষ্পায়নের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন তাহা যদি গরম দুধ হইতেই সংগৃহীত হয় তাহা হইলে কাপের দুধ যে হারে ঠাণ্ডা হইবে থালার দুধ তাহা অপেক্ষা আরও দ্রুত ঠাণ্ডা হইবে।

(iv) **তরলের উপর গ্যাসের চাপ** :—তরলের উপরে যদি বাতাস কিংবা অন্য কোন গ্যাস থাকে তাহা হইলে ঐ গ্যাসীয় পদার্থ তরলপৃষ্ঠের উপর যত কম চাপ

প্রয়োগ করিবে তরলের বাষ্পীভবনের হার তত বৃদ্ধি পাইবে। যেমন, শূন্যস্থানে (vacuum) জল রাখিলে উহা সঙ্গে সঙ্গে বাষ্পীভূত হয় কিন্তু ঐ জলকে বাতাসের মধ্যে রাখিলে অনেক সময় পর উহা সম্পূর্ণরূপে বাষ্পীভূত হয়।

(v) **তরলের উপরিস্থিত বায়ু-সঞ্চালন** :—তরলের উপরিস্থিত বায়ুকে সঞ্চালিত করিলে তরলের বাষ্পায়ন দ্রুত হয়। তরলের সংস্পর্শে যে বায়ু থাকে তাহা তরলের বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত (saturated) থাকে। এই তরল-বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত বাতাসকে সরাইয়া দিয়া নূতন বাতাস তরলের সংস্পর্শে আনিলে সেও তরলের বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে। এইভাবে বাতাসকে ক্রমাগত সঞ্চালিত করিলে প্রতি ক্ষেপে বাতাস তরল-বাষ্প লইয়া সরিয়া যাইবে এবং তরলের বাষ্পায়ন দ্রুত হইবে।

(vi) **বাতাসের শুষ্কতা** :—বাতাস যত শুষ্ক হইবে উহার বাষ্প ধরিবার ক্ষমতা তত বেশী হইবে। এই কারণে শীতকালে (যখন বাতাস শুষ্ক থাকে) জল যে হারে বাষ্পীভূত হয় বর্ষাকালে (যখন বাতাসে জলীয় বাষ্প খুব বেশী থাকে) তাহা অপেক্ষা অনেক কম হারে জল বাষ্পীভূত হয়। সুতরাং শীতকালে ভিজা কাপড় যত দ্রুত শুষ্ক হয় (যদিও ঐ সময়ে বায়ুর উষ্ণতা অনেক কম) বর্ষাকালে ভিজা কাপড় শুষ্ক হইতে অনেক সময় লয় (যদিও ঐ সময়ে বায়ুর উষ্ণতা বেশী থাকে)।

4-12. বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তি (Cold caused by evaporation) ঃ তরল যে উপায়েই বাষ্পীভূত হউক না কেন, উহাকে বাষ্পে পরিণত করিতে, তাপের প্রয়োজন হয় যাহাকে তরলের বাষ্পীভবনের **লীনতাপ** বলে। তরলের বাষ্পায়নের সময় যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহা যদি তরল তাহার নিজ দেহ হইতে সংগ্রহ করে তাহা হইলে উহা ঠাণ্ডা হইয়া যাইবে। এই নীতির উপর প্রতিষ্ঠিত যে সব প্রাকৃতিক ঘটনা দেখা যায় তাহার কয়েকটির বিবরণ ও ব্যাখ্যা নিম্নে দেওয়া হইল।

(1) **রাস্তায় জল ছিটাইলে রাস্তার বাতাস ঠাণ্ডা হয়** :—রাস্তায় জল ছিটাইলে ঐ জল তাড়াতাড়ি বাষ্পীভূত হয় এবং ইহার জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন তাহা রাস্তা এবং তাহার উপরিস্থিত বাতাস হইতে সংগৃহীত হয়। এজন্য রাস্তার বাতাস এবং রাস্তা ঠাণ্ডা হয়।

(2) **গরমের সময় মাটির কলসের জল পিতলের কলসের জল অপেক্ষা বেশী ঠাণ্ডা হয়** :—মাটির কলসে সরু সরু ছিদ্র থাকে যাহার মধ্য দিয়া কলসের জল বাহিরে আসে এবং দ্রুত বাষ্পীভূত হয়। জলের এই বাষ্পীভবনের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন তাহা কলসের জল হইতে সংগৃহীত হয় বলিয়া মাটির কলসের জল ঠাণ্ডা হয়। পিতলের কলসে ঐরূপ কোন সরু ছিদ্র না থাকায় জল বাহিরেও আসিতে পারে না এবং বাষ্পীভূতও হয় না। এজন্য পিতলের কলসের জল ঠাণ্ডা হয় না।

(3) **গরমের সময়ে পাখার বাতাসে আমরা আরাম বোধ করি** :—

পাখার দ্বারা আমরা শরীরের সংস্পৃষ্ট বাতাসকে সঞ্চালিত করি তাহা দ্বারা ঘামের বাষ্পীভবনের হার বৃদ্ধি পায়। ঘামের এই বাষ্পীভবনের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন হয় তাহা আমাদের শরীর হইতে লওয়ায় আমাদের শরীর ঠাণ্ডা হয়।

(4) **বর্ষাকাল অপেক্ষা শীতকালে ভিজা কাপড় দ্রুত শুকায় যদিও বর্ষাকালে বায়ুর উষ্ণতা বেশী থাকে** :—[4-11 পরিচ্ছেদের (*vi*) অংশ দেখ]।

(5) **এক কাপ গরম দুধ চওড়া পাত্রে ঢালিয়া পাখা দ্বারা বাতাস করিলে ঐ দুধ দ্রুত ঠাণ্ডা হয়** :—গরম দুধকে অগভীর বড় থালায় ঢালিয়া পাখা দ্বারা বাতাস করিলে উহার বাষ্পীভবনের হার দুইভাবে বৃদ্ধি পাওয়ার জন্য দুধ দ্রুত ঠাণ্ডা হয়। প্রথমতঃ, তরলের উপরতলের ক্ষেত্রফল বৃদ্ধিতে বাষ্পীভবনের হার বৃদ্ধি পায় এবং দ্বিতীয়তঃ তরলের উপরিস্থিত বায়ু-সঞ্চালনের জন্য বাষ্পীভবনের হার বৃদ্ধি পায়।

(6) **বর্ষাকালে ভিজা কাপড় অনেকক্ষণ গায়ে রাখা অস্বাস্থ্যকর** :—বর্ষাকালে বায়ু জলীয়বাষ্প দ্বারা প্রায় সংপৃক্ত থাকে এজন্য ভিজা কাপড়ের জলের বাষ্পীভবনের হার খুব কম হয়। কাজেই ভিজা কাপড় গায়ে অনেকক্ষণ থাকিলে কাপড়ের বেশীর ভাগ জলই শরীরের দ্বারা শোষিত হয় যাহা শরীরের পক্ষে ক্ষতিকারক।

(7) **কোন জিনিসকে ঠাণ্ডা করিবার পক্ষে 0°C-এর জল অপেক্ষা বরফ বেশী কার্যকরী** :—কোন বস্তুকে বরফের সংস্পর্শে আনিলে, বরফ ঐ বস্তু হইতে দুইভাবে তাপ সংগ্রহ করিবে। প্রথমতঃ, প্রতি গ্রাম বরফ 0°C উষ্ণতায় জলে পরিণত হইতে বস্তু হইতে 80 ক্যালরি তাপ সংগ্রহ করিবে। দ্বিতীয়তঃ, এই 0°C উষ্ণতার জল তাহার উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য আরও কিছু তাপ বস্তু হইতে সংগ্রহ করিবে। এই দুইভাবে বস্তুর তাপ শোষিত হওয়ায় বস্তুর উষ্ণতা অনেক কমিয়া যাইবে।

(8) **ঘরের দরজা জানালায় খস্‌খস্‌ টাঙ্গাইয়া দিলে ঘরের বাতাস ঠাণ্ডা থাকে** :—খস্‌খসের জলের বাষ্পীভবনের জন্য যে লীনতাপ প্রয়োজন তাহা ঘরের বাতাস হইতে সংগৃহীত হয় বলিয়া ঘরের বাতাস ঠাণ্ডা হয়।

4-13. স্ফুটন ও স্ফুটনাঙ্ক (Boiling and boiling point) ঃ

স্ফুটন :—একটি পাত্রে তরল লইয়া তাহার উপর ক্রমাগত তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার অণুগুলির গতি বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। কোন কোন অণুর গতি এত বেশী বৃদ্ধি পাইবে যে তাহারা তরলের উপরতলের অণুগুলির আকর্ষণবলকে অতিক্রম করিয়া তরলের বাহিরে আসিবে। বাহিরে আসা এই অণুগুলিকে তরলের বাষ্প বলে।

যখন তরলের উষ্ণতা একটি নির্দিষ্ট মানের (যাহা তরলের স্ফুটনাঙ্ক) কাছাকাছি আসে তখন যেরূপ দ্রুতহারে বাষ্পের সৃষ্টি হয় তাহার সবগুলি তরলের উপরতল হইতে বাহিরে যাইবার সুযোগ পায় না। তরলের মধ্যে যদি কিছু বাতাস দ্রবীভূত থাকে তাহা হইলে এই উষ্ণতায় ঐ বাতাস আর দ্রবীভূত থাকিতে পারে না। উহারা পাত্রের

গায়ের তলদেশে বুদ্‌বুদের আকারে জমা হয়। তরলের মধ্যে গঠিত যে বাষ্পগুলি তরলের উপরতল হইতে বাহিরে যাইবার সুযোগ পাইল না তাহারা বাতাসের বুদ্‌বুদের মধ্যে প্রবেশ করিয়া উহার আকার এবং চাপ বাড়াইয়া দিবে*। যখন বুদ্‌বুদের মধ্যস্থ বাষ্পের চাপ, উহার উপরিস্থিত তরল এবং বায়ুর মোট চাপ অপেক্ষা বেশী হইবে তখন ঐ বুদ্‌বুদ তরলকে অপসারিত করিয়া উপরে উঠিয়া যাইবে।

স্ফুটনের কিছু পূর্বে তরলের উপরাংশের উষ্ণতা উহার নিম্নাংশের উষ্ণতা অপেক্ষা সামান্য কম থাকে। এজন্য বুদ্‌বুদগুলি উপরে উঠিয়া ওখানকার কম উষ্ণতার জন্য বিনষ্ট হইয়া যায়। ইহার ফলে একটি সোঁ সোঁ শব্দ শুনা যায় যাহা হইতে স্ফুটনের পূর্বাভাস পাওয়া যায়। যখন তরলের উপরাংশের এবং নিম্নাংশের উষ্ণতা সমান হইয়া যায় তখন বুদ্‌বুদগুলি তরলকে আলোড়িত করিয়া তরলের উপরে উঠে এবং সশব্দে ফাটিয়া যায়। এই অবস্থাকেই তরলের **স্ফুটন** বলে। যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয় তাহাকে তরলের **স্ফুটনাঙ্ক** বলে।

স্ফুটনাঙ্কের সংজ্ঞা :—তরলের উপরতলে নির্দিষ্ট চাপের গ্যাস রাখিয়া ঐ তরলের উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি করিতে থাকিলে যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয় সেই উষ্ণতাকে ঐ চাপের জন্য তরলের **স্ফুটনাঙ্ক** (boiling point) বলে।

যদি তরলের উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকে (76 সে. মি. পারদস্তম্ভের চাপকে বায়ুর স্বাভাবিক চাপ ধরা হয়) তাহা হইলে যে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয় তাহাকে তরলের **স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক** (normal boiling point) বলে। কোন কিছু উল্লেখ করা না থাকিলে, স্ফুটনাঙ্ক বলিতে আমরা স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কই বুঝিয়া থাকি। যেমন জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C, বলিলে আমরা বুঝিব যে বিশুদ্ধ জলের উপর বায়ুর স্বাভাবিক চাপ থাকিলে ঐ জলের স্ফুটন 100°C উষ্ণতায় হইবে। বিপরীত পক্ষে বায়ুর স্বাভাবিক চাপে রক্ষিত অতি উষ্ণ স্টীমকে ক্রমশঃ ঠাণ্ডা করিতে থাকিলে যখন উহার উষ্ণতা 100°C-এ আসে তখন ঐ বাষ্প 100°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইতে থাকে, যতক্ষণ না সমস্ত বাষ্প জলে পরিণত হয়।

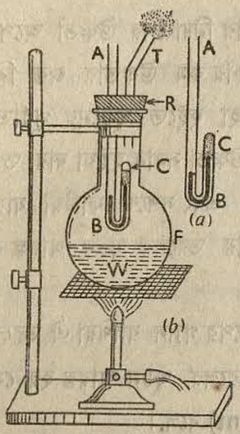
4-14. তরলের স্ফুটন হওয়ার শর্ত : যে উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্প-চাপের সহিত তরলের উপরিস্থিত গ্যাসের চাপ সমান হয় সেই উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন আরম্ভ হয়। তরলের স্ফুটনের ইহাই শর্ত। নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা এই শর্তের সত্যতা প্রমাণ করা যায়।

পরীক্ষা :—একটি U-নল লওয়া হইল যাহার ছোট বাহুর (*BC*) উপরের মুখ (*C*) বন্ধ এবং বড় বাহুর (*AB*) উপরের মুখ (*A*) খোলা। ছোট বাহুর উপরাংশ জল এবং

* তরলের মধ্যে যদি দ্রবীভূত বাতাস না থাকে তাহা হইলে উহার মধ্যে কিছু কঠিনের টুকরা (যেমন কাচের টুকরা) ফেলিয়া দিলে বাষ্পগুলি কঠিনের টুকরাগুলির উপর বসিয়া বুদ্‌বুদের সৃষ্টি করিবে।

নিম্নাংশ পারদ দ্বারা সম্পূর্ণভাবে ভর্তি থাকে। বড় বাহুর নিম্নাংশে কেবলমাত্র পারদ থাকে যাহার উপরতল, ছোট বাহুর পারদতলের নীচে থাকে [4.5(a)নং চিত্র দেখ]।

এক্ষণে এই U-নলকে একটি ফ্লাস্কের (F) মুখের কর্কের (R) মধ্যে এমনভাবে প্রবেশ করান হইল যাহাতে ছোট বাহুটি সম্পূর্ণভাবে এবং বড় বাহুটি আংশিকভাবে ফ্লাস্কের মধ্যে থাকিতে পারে [4.5(b) নং চিত্র দেখ]। ফ্লাস্কের মধ্যে এমন পরিমাণ জল (W) লওয়া হইল যাহাতে জলের তল, U-নলের নিম্নতম বাঁকানো অংশের (B) সামান্য নীচে থাকে। বার্ণার দ্বারা ফ্লাস্কের জলকে গরম করিতে থাকিলে উহার বাষ্পের গরমে U-নলের ছোট বাহুর মধ্যস্থ জল বাষ্পে পরিণত হইতে থাকিবে এবং ঐ বাষ্প ছোট বাহুর পারদতলকে নীচে নামাইতে থাকিবে। ফ্লাস্কের জল যখন ফুটিতে থাকিবে তখন দেখা যাইবে যে U-নলের দুই বাহুর পারদতল এক অনুভূমিক সমতলে আসিয়াছে। অর্থাৎ জলের স্ফুটনাঙ্কে উহার সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ (যে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্প, U-নলের ছোট বাহুর উপরে থাকিয়া ঐ বাহুর পারদতলকে নীচের দিকে নামাইয়াছে) বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান (যে বায়ুমণ্ডলের চাপ U-নলের বড় বাহুর পারদের উপরতলে প্রযুক্ত হইতেছে এবং ফ্লাস্কের মধ্যস্থ জলের উপরও প্রযুক্ত হইতেছে)। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে জলের স্ফুটনাঙ্কে উহার সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ এবং জলের উপরিস্থিত বায়ুমণ্ডলের চাপের সমান। অতএব সাধারণভাবে বলা যাইতে পারে যে, **কোন তরলের স্ফুটন সেই উষ্ণতায় হইবে যে উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপের সহিত তরলের উপরিস্থিত কোন গ্যাসের চাপ** (Superincumbent pressure) **সমান হইবে।**



চিত্র 4.5 : স্ফুটন হওয়ার শর্ত

4-15. তরলের স্ফুটনাঙ্ককে প্রভাবিত করিবার বিষয়-সমূহ (Factors influencing the boiling point of a liquid) : যে যে বিষয়ের দ্বারা তরলের স্ফুটনাঙ্ক প্রভাবিত হয় তাহাদের সম্বন্ধে নিম্নে আলোচিত হইল।

(a) **তরলের প্রকৃতি :**—বিভিন্ন প্রকৃতির বিশুদ্ধ তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বিভিন্ন হইয়া থাকে। যথা—জল, অ্যালকোহল, ইথার প্রভৃতি তরলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক যথাক্রমে 100°C, 78°C এবং 35°C।

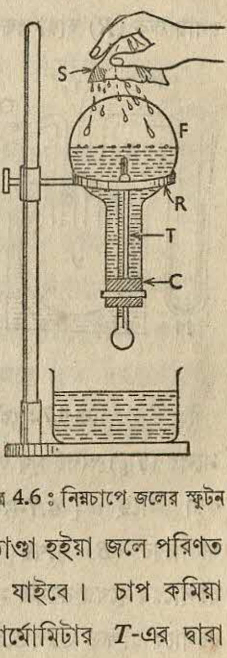
(b) **তরলের মধ্যে দ্রবীভুত পদার্থের পরিমাণ :**—বিশুদ্ধ তরলে কোন কঠিন পদার্থ দ্রবীভূত থাকিলে ঐ দ্রবণের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধির পরিমাণ দ্রবীভূত পদার্থের এবং দ্রাবকের প্রকৃতি ও পরিমাণের উপর নির্ভর করে।

আবার তড়িৎ-বিশ্লেষ্য (electrolyte) দ্রবণের ক্ষেত্রে যেরূপ স্ফুটনাঙ্ক বৃদ্ধি পায়, অ-তড়িৎ-বিশ্লেষ্য দ্রবণের ক্ষেত্রে তাহার প্রায় অর্ধেক বৃদ্ধি পায়। যথা, 100 গ্রাম বিশুদ্ধ জলে (যাহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 100°C) যদি এক গ্রাম-অণু সাধারণ লবণ (58·5 গ্রাম) দ্রবীভূত করা যায় তাহা হইলে এই দ্রবণের (যাহা তড়িৎ-বিশ্লেষ্য) স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 110°C হয়। আবার 100 গ্রাম বিশুদ্ধ জলে যদি এক গ্রাম-অণু চিনি (342 গ্রাম) দ্রবীভূত করা যায় তাহা হইলে ঐ দ্রবণের (যাহা অ-তড়িৎবিশ্লেষ্য) স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 105°C হয়।

(c) **তরলের উপরতলের গ্যাসের চাপ** :—তরলপৃষ্ঠের উপরিস্থিত গ্যাসের চাপ বাড়াইয়া কিংবা কমাইয়া ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক, উহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা যথাক্রমে বেশী কিংবা কম করা যায়।

4-16. তরলের স্ফুটনাঙ্কের উপর চাপের প্রভাব দেখাইবার পরীক্ষা :

(1) **চাপ-হ্রাসে স্ফুটনাঙ্কের হ্রাস** : (i) **ফ্রাঙ্কলিনের পরীক্ষা** :—একটি কাচের ফ্লাস্কের (*F*) প্রায় অর্ধেকটায় জল লইয়া ঐ জলকে অনেকক্ষণ ফুটানো হইল যাহাতে জল হইতে উত্থিত স্টীম বাহিরে যাইবার সময় জলের উপরিস্থিত সমস্ত বাতাসকে বাহিরে বিতাড়িত করিতে পারে [4.6নং চিত্র]। ফ্লাস্কের সমস্ত বাতাস যখন বাহিরে বিতাড়িত হইবে তখন ফ্লাস্কের মুখ একটি রবারের কর্ক (*C*) দ্বারা বন্ধ করিয়া উহাকে একটি রিং-এর (*R*) মধ্যে উপুড় করিয়া রাখা হইল (4.6নং চিত্র)। এক্ষণে ফ্লাস্কের গরম জলের উপর কেবলমাত্র উহার বাষ্প উচ্চ উষ্ণতায় রহিয়া গেল। এইবার একখানি ভিজা গামছার (*S*) ঠাণ্ডা জল ফ্লাস্কের মাথায় নিংড়াইয়া দিলে ফ্লাস্কের মধ্যস্থ গরম বাষ্প ঠাণ্ডা হইয়া জলে পরিণত হইবে এবং ইহার ফলে গরম জলের উপর বাষ্প-চাপ কমিয়া যাইবে। চাপ কমিয়া যাওয়ার ফলে জলের স্ফুটনাঙ্ক ঐ গরম জলের উষ্ণতা [যাহা থার্মোমিটার *T*-এর দ্বারা পাওয়া যাইবে] অপেক্ষাও কম হইবে এবং ঐ জলকে ফুটিতে দেখা যাইবে। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে তরলের উপরে চাপের হ্রাস হইলে উহার স্ফুটনাঙ্ক স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা কম হয়।



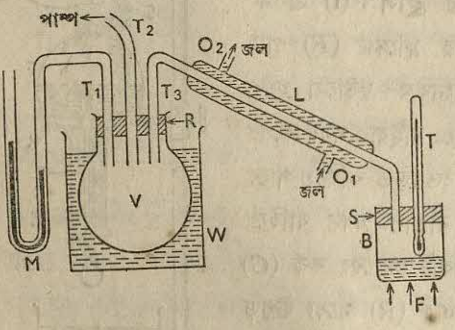
চিত্র 4.6 : নিম্নচাপে জলের স্ফুটন

(ii) কোন উঁচু পাহাড়ের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ কম থাকায় ঐ স্থানে জল 100°C-এর অনেক কম উষ্ণতায় ফুটিতে থাকে। এজন্য উঁচু পাহাড় অভিযানের সময় জলকে প্রেসার কুকারের মধ্যে রাখিয়া গরম করা হয় যাহাতে ঐ উষ্ণ জল দ্বারা চা এবং অন্যান্য খাদ্যদ্রব্য প্রস্তুত করা সম্ভব হয়।

(2) **চাপ-বৃদ্ধিতে স্ফুটনাঙ্কের বৃদ্ধি :** (i) প্রেসার কুকার বায়ুনিরুদ্ধ থাকার উহার মধ্যে প্রচুর পরিমাণ স্টীম জমা হইয়া কুকারের মধ্যস্থ জলের উপর বায়ুমণ্ডলের চাপ অপেক্ষা বেশী চাপের সৃষ্টি করে। এই উচ্চচাপে কুকারের জলের স্ফুটনাঙ্ক বেশী হয় (প্রায় 120°C) যাহার ফলে ঐ জলের মধ্যে যে সব জিনিস থাকে (যেমন চাউল, ডাল, মাংস প্রভৃতি) খুব কম জ্বালানী দ্বারা অল্প সময়ে সুসিদ্ধ হয়।

(ii) স্টীম এঞ্জিনে, জলের উপর বাতাসের যে চাপ থাকে তাহা বায়ুমণ্ডলের চাপের প্রায় 16 গুণ বেশী। এই চাপে জলের স্ফুটনাঙ্ক প্রায় 200°C হয় যাহা জলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্কের প্রায় দ্বিগুণ।

(iii) **রেনোর পরীক্ষা** :—এই পরীক্ষার জন্য একটি বড় আকারের তামার শূন্যপাত্র (*V*) অপর একটি পাত্রের (*W*) জলের মধ্যে আংশিক ডুবাইয়া তামার পাত্রের (*V*) মুখ একটি রবার কর্ক (*R*) দ্বারা বন্ধ করা হইল। এই কর্কের মধ্য দিয়া তিনটি নলের এক মুখ তামার পাত্রের মধ্যে সামান্য প্রবেশ করিয়াছে। প্রথম নলটির (T_1) অপরমুখ ম্যানোমিটারের (*M*) সহিত যুক্ত করা আছে, দ্বিতীয় নলটির (T_2) অপর মুখ একটি পাম্পের সহিত (বায়ু নিষ্কাশক কিংবা বায়ু সংকোচক পাম্প) যুক্ত করা আছে এবং তৃতীয় নলের (T_3) অপর মুখ লাইবিগ কনডেন্সারের (*L*) ভিতরের নলের এক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করা আছে [4.7নং চিত্র দেখ]। কনডেন্সারের ভিতরের নলের অপর প্রান্ত বয়লারের (*B*) মুখের কর্কের (*S*) নীচে সামান্য দূর পর্যন্ত প্রবেশ করানো থাকে। বয়লারের মুখের কর্কের মধ্যে একটি থার্মোমিটার (*T*) প্রবেশ করানো থাকে যাহার কুণ্ডটি বয়লারে রক্ষিত তরলতলের সামান্য উপরে থাকে।



চিত্র 4.7 : রেঁনোর পরীক্ষা

পরীক্ষা : (a) **বিভিন্ন উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন** :—পাম্পের সাহায্যে *V* পাত্রের মধ্যে যে নির্দিষ্ট চাপের বাতাস রাখা হইল সেই চাপ লাইবিগ কন্‌ডেন্সারের মধ্যনলের মধ্য দিয়া বয়লারের তরলের উপরেও প্রযুক্ত হইবে। এই চাপের পরিমাণ ম্যানোমিটারের (*M*) সাহায্যে পাওয়া যাইবে। লাইবিগ কন্‌ডেন্সারের বাহিরের নলের মধ্যে ঠাণ্ডা জল প্রবাহিত করাইয়া, বয়লারের তরলকে অগ্নিশিখার (*F*) দ্বারা ক্রমশঃ গরম করিতে থাকিলে, থার্মোমিটারও (*T*) ক্রমবর্ধমান উষ্ণতা নির্দেশ করিতে থাকিবে। যখন থার্মোমিটার (*T*) স্থির উষ্ণতা নির্দেশ করিবে তখন দেখা যাইবে যে বয়লারের

তরলের স্ফুটন হইতেছে। কাজেই থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত উষ্ণতা তরলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে সেই নির্দিষ্ট চাপে, যাহা ম্যানোমিটার দ্বারা নির্দেশিত হইতেছে। পাম্পের সাহায্যে V পাত্রের বায়ুর চাপ বায়ুমণ্ডলের স্বাভাবিক চাপের বেশী কিংবা কম করিলে দেখা যাইবে বয়লারের তরলের স্ফুটনাঙ্ক উহার স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক অপেক্ষা যথাক্রমে বেশী কিংবা কম হইতেছে। অতএব **কোন তরলের উপর চাপ পরিবর্তন করিয়া উহাকে যে-কোন উষ্ণতায় ফোটান সম্ভব।**

(b) **বিভিন্ন উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ :**—পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে, যে উষ্ণতায় তরলের স্ফুটন হয় সেই উষ্ণতায় তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ, উহার উপরে অবস্থিত কোন গ্যাসের চাপের সহিত সমান হয় [4-14 পরিচ্ছেদ দেখ]। এই পরীক্ষায়, বয়লারের মধ্যস্থ তরলের যে উষ্ণতায় স্ফুটন হইবে তাহা থার্মোমিটার (T) দ্বারা নির্দেশিত স্থির উষ্ণতার সহিত সমান হইবে। আবার বয়লারের তরলের উপরিস্থিত বায়ুচাপ ম্যানোমিটার (M) দ্বারা নির্দেশিত বায়ুচাপের সমান হইবে। সুতরাং উপরে বর্ণিত নীতি অনুযায়ী, থার্মোমিটার দ্বারা নির্দেশিত স্থির উষ্ণতায় বয়লারের তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ, ম্যানোমিটার দ্বারা নির্দেশিত বায়ুচাপের সমান হইবে। এইভাবে, বয়লারের তরলের উপরে বিভিন্ন পরিমাণ বায়ু-চাপ রাখিলে ঐ বায়ুচাপ, তরলের স্ফুটনাঙ্কে, তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ হইবে।

4-17. উচ্চ অবস্থান্তর-জনিত কয়েকটি ঘটনার ব্যাখ্যা :

(a) **জলের স্ফুটনাঙ্ক কিংবা বাষ্পীভবন বৃদ্ধি করার প্রয়োজন কখন হয় ?**—কোন জিনিসকে (যেমন ডিম, মাংস, চাল প্রভৃতি) যখন জলে দ্রুত সিদ্ধ করিবার প্রয়োজন হয় তখন জলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়াইবার প্রয়োজন হয়। এজন্য পাত্রের মুখে একটি ভারী ঢাক্‌না দেওয়া হয় যাহাতে জলের উপরে বাতাস এবং বাষ্প সম্মিলিতভাবে চাপ দিয়া জলের স্ফুটনাঙ্ক বাড়াইয়া দিতে পারে। কিন্তু জলের স্ফুটন আরম্ভ হইয়া গেলে উহার উষ্ণতা আর বৃদ্ধি পাইবে না। এজন্য জলকে কেবলমাত্র স্ফুটনাঙ্কে রাখার জন্য অগ্নিশিখা ছোট করিয়া রাখা বাঞ্ছনীয়, কারণ ইহা দ্বারা জ্বালানী খরচ কম হয়।

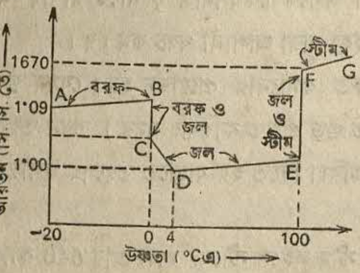
কিন্তু যখন কোন তরলের জলীয়-ভাগ দ্রুত কমানোর প্রয়োজন হয় (যেমন দুধকে ঘন করিবার সময় কিংবা আখের রস হইতে গুড় প্রস্তুত করিবার সময়) তখন তরলকে একটি অগভীর পাত্রে লইয়া অগ্নিশিখা বড় করিয়া দিতে হয় যাহাতে তরলের জলীয়ভাগ দ্রুত বাষ্পীভূত হইতে পারে।

(b) 100°C উষ্ণতায় এক গ্রাম জল ও স্টীম লইলে স্টীমের মধ্যে প্রায় 540 ক্যালরি তাপ বেশী থাকে। এজন্য শীতপ্রধান দেশে ঘর গরম রাখিতে পাইপের মধ্যে স্টীম চালনা করা হয়। আবার স্টীমের মধ্যে হাত দিলে হাত যেরূপ পুড়িবে ঐ উষ্ণতার জলের মধ্যে হাত দিলে হাত অনেক কম পুড়িবে [4-3 পরিচ্ছেদের (2)নং দফার 'উদাহরণ' দেখ]।

(c) ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উপরে কিছু জল প্রবেশ করাইলে, পারদস্তম্ভের অবনতি হয় কেন এবং ঐ অবনতি মাপিয়া ঘরের উষ্ণতা স্থির করা যায় কি ?—জল পারদস্তম্ভের উপরের শূন্যস্থানে যাওয়া মাত্র বাষ্পে পরিণত হয় এবং ঐ বাষ্পের চাপে পারদস্তম্ভের অবনতি ঘটে। পারদস্তম্ভের উপরে কিছু জল থাকিলে উহার উপরের জলীয় বাষ্প সংপৃক্ত থাকিবে। পরদ-স্তম্ভের অবনতি মাপিয়া লইলে ঐ পরিমাপ ঘরের উষ্ণতায় জলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ হইবে। রেনোর তালিকা হইতে, জলের সংপৃক্ত বাষ্পের ঐ পরিমাণ চাপ যে উষ্ণতায় হইবে তাহা দেখিয়া লইলে সেই উষ্ণতাই ঘরের উষ্ণতা হইবে।

(d) 15°C উষ্ণতায় জলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ 12·7 মিলিমিটার বলিতে কি বোঝা যায় ?—কোন আবদ্ধ পাত্রের উষ্ণতা 15°C-এ স্থির রাখিয়া যদি ঐ আবদ্ধ স্থানকে জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত রাখা হয় তাহা হইলে ঐ সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ 12·7 মিলিমিটার পারদস্তম্ভের চাপের সমান হইবে।

(e) এক গ্রাম বরফের উষ্ণতা −20°C হইতে 120°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করিলে উহার অবস্থার এবং আয়তনের কিরূপ পরিবর্তন হইবে ?—বরফ যখন তাহার নিম্ন অবস্থা হইতে উচ্চ অবস্থায় যায় তখন উহার যেরূপ আয়তনের পরিবর্তন হয় তাহা একটি লেখচিত্রের সাহায্যে সুন্দরভাবে বোঝান যায়। একটি ছক কাগজের x-অক্ষের দিকে বরফের উষ্ণতা (°C-এ) প্রকাশ করিয়া এবং ঐ উষ্ণতায় উহার আয়তন (সি. সি.-তে) y-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিলে যে প্রকারের লেখচিত্র পাওয়া যাইবে তাহার প্রকৃতি 4.8নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। ঐ চিত্রে দেখা যায় যে বরফ যখন জলে পরিণত হইতে থাকে (BC অংশ) তখন উহার আয়তন কমিতে থাকে (যদিও উষ্ণতা 0°C-এ থাকে)। 0°C উষ্ণতার পর জলের উষ্ণতা বাড়াইতে থাকিলে 4°C উষ্ণতায় উহার আয়তন সর্বনিম্ন হয় (D বিন্দু)। জলের উষ্ণতা 4°C হইতে 100°C পর্যন্ত বৃদ্ধি করিলে উহার আয়তন ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকে (DE অংশ)। 100°C উষ্ণতায় উহা স্টীমে পরিণত হইতে থাকে, যতক্ষণ না সমস্ত জল স্টীমে পরিণত হয় (EF অংশ)। 100°C উষ্ণতার স্টীমের উষ্ণতা পুনরায় বাড়াইতে থাকিলে উহার আয়তনও (বায়ুমণ্ডলের চাপে) বাড়িতে থাকে (FG অংশ)। এক গ্রাম 4°C উষ্ণতার জলের আয়তন এক সি.সি. কিন্তু এক গ্রাম 100°C উষ্ণতার স্টীমের আয়তন 1670 সি.সি.।



চিত্র 4.8 : এক গ্রাম বরফের (উষ্ণতা-আয়তন) লেখচিত্র

4-18. হাইগ্রোমিতি ও হাইগ্রোমিটার (Hygrometry and Hygrometer) ঃ বায়ুতে সর্বদাই জলীয় বাষ্প থাকে যাহার পরিমাণ একই স্থানে কখনও বেশী হয় (যেমন বর্ষাকালে) আবার কখনও কম হয় (যেমন শীতকালে)। বায়ুতে জলীয় বাষ্প কম কিংবা বেশী থাকিলে সেই বায়ুকে যথাক্রমে শুষ্ক কিংবা আর্দ্র বায়ু বলা হয়। যে সব স্থানে নদী, সমুদ্র প্রভৃতি অবস্থিত সেই সব স্থানের বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী থাকে। মেঘ, বৃষ্টি, কুয়াশা, শিশির প্রভৃতি হইতে আমরা বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের অস্তিত্ব বুঝিতে পারি। আমাদের শারীরিক অবস্থাও বায়ুর শুষ্কতা এবং আর্দ্রতা দ্বারা কিছুটা প্রভাবিত হয়। কোনও স্থানের আবহাওয়ার অবস্থা, বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই সব কারণেই কোনও স্থানের বায়ুমণ্ডলে কি পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে তাহা নির্ণয় করিবার প্রয়োজন হয়। এজন্য বায়ুমণ্ডলীয় জলীয় বাষ্পের পরিমাপ-বিজ্ঞানকে **হাইগ্রোমিতি** বলে এবং যে সব যন্ত্র দ্বারা বায়ুতে উপস্থিত জলীয় বাষ্পের পরিমাণ মাপা যায় তাহাকে **হাইগ্রোমিটার** বলে। বায়ুতে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ জানিতে হইলে কয়েকটি রাশি সম্বন্ধে সম্যক জ্ঞান থাকার প্রয়োজন। পরের পরিচ্ছেদে ঐ রাশিগুলির সংজ্ঞা ও ব্যাখ্যা দেওয়া হইল।

4-19. হাইগ্রোমিতি সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির ব্যাখ্যা ঃ

(*a*) **বায়ুর শিশিরাঙ্ক** (Dew point of air) :—কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ বাতাসকে সংপৃক্ত করিতে বেশী কিংবা কম পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন হয় যখন বাতাসের উষ্ণতা যথাক্রমে বেশী কিংবা কম থাকে। কাজেই t°C উষ্ণতার বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে তাহা ঐ উষ্ণতার বাতাসকে সংপৃক্ত করিতে না পারিলেও উহার উষ্ণতা কমাইয়া t'°C-এ ($t'<t$) আনিলে, ঐ উষ্ণতায় বায়ু তাহার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা সবেমাত্র সংপৃক্ত হইবে। এই উষ্ণতাকে (t'°C) বায়ুর **শিশিরাঙ্ক** বলে। বায়ুর উষ্ণতা যদি t'°C-এরও নীচে আনা হয় তাহা হইলে ঐ উষ্ণতার বাতাসকে সংপৃক্ত করিতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন হইবে তাহা অপেক্ষাও বেশী পরিমাণ জলীয় বাষ্প বাতাসের মধ্যে আছে। কাজেই বাতাসের t'°C-এর নীচের উষ্ণতায়, এই অতিরিক্ত জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া জলকণা রূপে জমা হইবে। শিশিরাঙ্কের সংজ্ঞা নিম্নরূপ হইবে।

সংজ্ঞা ঃ—যে উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পরিমাণ বায়ু তাহার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা সবেমাত্র সংপৃক্ত হয় সেই উষ্ণতাকে বায়ুর **শিশিরাঙ্ক** বলে। **বায়ুর শিশিরাঙ্ক 20°C**—ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে বায়ুর উষ্ণতা 20°C হইলে উহা উহার মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হইবে।

শিশিরাঙ্কের পরিবর্তন :—(i) যখন বাতাসের শিশিরাঙ্কের মান ঘরের উষ্ণতার সমান হয় তখন বুঝিতে হইবে যে বাতাস জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত আছে। (ii) যদি শিশিরাঙ্ক একেবারেই না পাওয়া যায় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে বাতাস

পুরাপুরি শুষ্ক, উহার মধ্যে সামান্য পরিমাণও জলীয় বাষ্প নাই। (iii) ঘরের বাতাসের মধ্যস্থ জলীয় বাষ্পের পরিমাণ স্থির রাখিয়া বাতাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিলেও শিশিরাঙ্কের মান স্থির থাকিবে। (iv) ঘরের বাতাসের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া ঘরের মধ্যে জল ছিটাইয়া দিলে বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বৃদ্ধি পাইবে। এজন্য ঘরের বাতাসের শিশিরাঙ্কের মান বেশী হইবে।

(b) **বায়ুর আর্দ্রতা** (Humidity of air) :—বায়ুর আর্দ্রতা দুইভাবে প্রকাশ করা যায়। (i) চরম আর্দ্রতা ও (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতা।

(i) **চরম আর্দ্রতা** (Absolute humidity) :—একটি নির্দিষ্ট আয়তনের (এক ঘন মিটার) বায়ুতে যে পরিমাণ (গ্রামে) জলীয় বাষ্প থাকে তাহাকে বায়ুর **চরম আর্দ্রতা** বলে। **বায়ুর চরম আর্দ্রতা 12**—ইহা দ্বারা আমরা বুঝি যে, এক ঘন মিটার বাতাসের মধ্যে 12 গ্রাম জলীয় বাষ্প আছে।

(ii) **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** (Relative humidity) :—t°C উষ্ণতায়, V সি. সি. বাতাসের মধ্যে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাহা সাধারণতঃই ঐ বাতাসকে সংপৃক্ত করে না। সেইজন্য t°C উষ্ণতায় V সি. সি. বাতাসের মধ্যে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাহার সহিত, সেই পরিমাণ জলীয় বাষ্পের তুলনা করা হয় যাহা ঐ একই আয়তনের এবং একই উষ্ণতার বাতাসকে সংপৃক্ত করিতে পারিবে। এই তুলনামূলক সংখ্যা (যাহার উচ্চতম মান 1) দ্বারাই বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা মাপা হয়।

$$\therefore \text{আ. আর্দ্রতা} = \frac{t^\circ\text{C উষ্ণতায় } V \text{ সি. সি. বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে}}{t^\circ\text{C উষ্ণতায় } V \text{ সি. সি. সংপৃক্ত বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকিবে}}$$

অসংপৃক্ত বাষ্প, গ্যাসের সূত্রগুলি মোটামুটি মানিয়া চলে। সুতরাং t°C উষ্ণতায় V সি. সি. বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প আছে তাহার চাপ (f) ঐ বাষ্পের পরিমাণের সমানুপাতিক হইবে। আবার t°C উষ্ণতায় V সি. সি. বায়ুতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে তাহা দ্বারাই ঐ V সি. সি. বাতাস সংপৃক্ত হইবে যখন বাতাসের উষ্ণতা শিশিরাঙ্কে আসে। অতএব t°C উষ্ণতায় V সি. সি. বাতাসের মধ্যে থাকা অসংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ (f), ঐ বাতাসের শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপের (f) সহিত সমান হইবে। এজন্য লেখা যায় যে,

$$\text{আ. আর্দ্রতা} = \frac{\text{বায়ুর শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ } (f)}{t^\circ\text{C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ } (F)} = \frac{f}{F} \text{।}$$

$$\text{সুতরাং শতকরা আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = H = \frac{f}{F} \times 100 \quad \cdots \quad (4\text{-}19a)$$

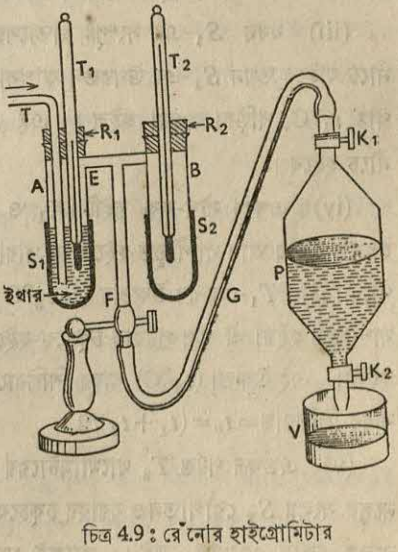
'বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা 70%'—এই উক্তি দ্বারা আমরা বুঝি যে, t°C

উষ্ণতায় V সি. সি. বাতাসকে সংপৃক্ত করিতে যে পরিমাণ জলীয় বাষ্পের প্রয়োজন এক্ষণে ঐ বায়ুতে তাহার $\frac{70}{100}=\frac{7}{10}$ অংশ বিদ্যমান।

আপেক্ষিক আর্দ্রতার পরিবর্তন :—(i) আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান শূন্য হইলে $f=0$ হইবে; অর্থাৎ বাতাসের মধ্যে কোনরূপ জলীয় বাষ্প নাই। (ii) আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান 1 হইলে $f=F$ হইবে; অর্থাৎ বাতাস জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত আছে। (iii) ঘরের বাতাসের উষ্ণতা স্থির রাখিয়া ঘরের মধ্যে কিছু জল ছিটাইয়া দিলে, বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বাড়িয়া যাইবে। ইহার ফলে বায়ুর শিশিরাঙ্ক বাড়িয়া যাইবে এবং f-এর মানও বাড়িয়া যাইবে যদিও F-এর মান স্থির থাকিবে (কারণ ঘরের উষ্ণতা স্থির আছে)। এই কারণে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেশী হইবে। (iv) ঘরের বাতাসের মধ্যে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ স্থির রাখিয়া ঐ বাতাসের উষ্ণতা যদি বাড়াইয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে f-এর মান ঠিক থাকিবে কিন্তু F-এর মান বেশী হইবে। এজন্য আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংখ্যা কমিয়া যাইবে।

4-20. রেঁনোর হাইগ্রোমিটার (Regnault's hygrometer) ঃ রেঁনোর হাইগ্রোমিটার একটি শিশিরাঙ্ক হাইগ্রোমিটার যাহার দ্বারা বায়ুর শিশিরাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা নির্ণয় করা যায়। ইহা 4·9 নং চিত্রে দেখান হইল।

(i) ইহাতে দুইটি একই আয়তনের এবং একই আকারের টেস্টটিউব (A ও B) আছে যাহার নিম্নাংশ (যথাক্রমে S_1 ও S_2) রূপার তৈরী এবং উপরাংশে কাচ থাকে। রূপার বাহিরের তল খুব পালিশ করিয়া রাখা হয় এবং টেস্টটিউব দুইটির মধ্যে কোন সংযোগ নাই। A টেস্টটিউবের মধ্যে খানিকটা ইথার আছে যাহার মধ্যে একটি থার্মোমিটারের (T_1) কুণ্ড ডোবানো থাকে। দুই মুখ খোলা একটি বাঁকানো নলের (T) একটি খোলা মুখ টেস্টটিউবের (A) তলা পর্যন্ত গিয়াছে এবং অপর খোলা মুখ বাহিরের বাতাসে উন্মুক্ত থাকে। A টেস্টটিউবের মুখ কর্ক R_1 দ্বারা বন্ধ করিয়া তাহার মধ্য দিয়া থার্মোমিটার (T_1) প্রবেশ করানো হয়।



চিত্র 4.9 : রেঁনোর হাইগ্রোমিটার

(ii) B টেস্টটিউবের মধ্যে ঘরের উষ্ণতায় বাতাস থাকে এবং এই বাতাসের উষ্ণতা জানিবার জন্য উহার মুখের কর্কের (R_2) মধ্যে থার্মোমিটার T_2-কে প্রবেশ করানো হয়।

(iii) P একটি জলপূর্ণ বায়ু-শোষক পাত্র যাহার সহিত A টেস্টটিউবের যোগাযোগ আছে। A টেস্টটিউবের সংলগ্ন কাঁচের নল EF এবং একটি রবারের নল (G), P-পাত্র ও A-নলের মধ্যে যোগাযোগ রক্ষা করে। P পাত্রের দুইটি স্টপ-কক্ K_1 ও K_2 খুলিয়া দিলে উহার মধ্যস্থ জল বাহিরে আসিবে এবং ইহার জন্য P-পাত্রে যে শূন্যস্থানের সৃষ্টি হইবে তাহা পূরণ করিবার জন্য বাহিরের বাতাস T-নলের মধ্যে আসিবে এবং ইথারে বুদ্বুদ্ সৃষ্টি করিয়া EFG নলের সাহায্যে P পাত্রে প্রবেশ করিবে।

পরীক্ষা :—(i) A নলে এমন পরিমাণ ইথার লওয়া হইল যাহাতে T_1 থার্মোমিটারের কুণ্ডটি উহার মধ্যে ডুবিয়া থাকিতে পারে। দূরে একটি দূরবীন যন্ত্র রাখিয়া তাহার সাহায্যে A ও B নলের রৌপ্য নির্মিত অংশ (যথাক্রমে S_1 ও S_2) লক্ষ্য করা হইল এবং থার্মোমিটার দুইটির পাঠও পড়িয়া লওয়া হইল।

(ii) P পাত্রের স্টপ-কক্ দুইটি (K_1 ও K_2) খুলিয়া দিলে উহার জল বাহিরে আসিবে এবং বাহিরের বাতাস যখন A নলের ইথারে বুদ্বুদ্ সৃষ্টি করিয়া P পাত্রে আসিতে থাকিবে তখন ইথার তাহার নিজ দেহ হইতে প্রয়োজনীয় লীনতাপ লইয়া বাষ্পীভূত হইতে থাকিবে। ইহার ফলে ইথার এবং তাহার সংস্পৃষ্ট রৌপ্যতল (S_1) ঠাণ্ডা হইতে থাকিবে। রূপা তাপের সুপরিবাহী হওয়ায় উহার সংস্পৃষ্ট বাহিরের বাতাসও ক্রমশঃ ঠাণ্ডা হইতে থাকিবে।

(iii) যখন S_1-এর সংস্পৃষ্ট বাতাসের উষ্ণতা কমিয়া উহার শিশিরাঙ্কের সামান্য নীচে যাইবে তখন S_1-এর উপরতল ঝাপসা দেখাইবে। এই সময়ে থার্মোমিটার T_1-এর পাঠ t_1°C পড়িয়া লওয়া হইল। এই t_1°C বায়ুর শিশিরাঙ্কের ($=t_o$°C) সামান্য নীচে হইবে।

(iv) এক্ষণে স্টপ-কক্ দুইটি (K_1 ও K_2) বন্ধ করিলে বাতাস আসা বন্ধ হইবে। ইহাতে ইথার আর বাষ্পীভূত হইতে না পারায় উহার উষ্ণতা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। থার্মোমিটার T_1-এর যে উষ্ণতায় ($=t_2$°C), S_1 রৌপ্যতলের উপর জমা সমস্ত শিশির বাষ্পীভূত হইয়া ঐ তল পুনরায় চক্চকে হইবে সেই উষ্ণতাও দূরবীন দ্বারা পড়িয়া লওয়া হইল। এই উষ্ণতা (t_2°C) বায়ুর শিশিরাঙ্কের (t_o°C) সামান্য উপরে হইবে। সুতরাং বায়ুর শিশিরাঙ্ক$=t_o=(t_1+t_2)/2$।

(v) এতক্ষণ পর্যন্ত T_2 থার্মোমিটারের পাঠ (t°C) একই দেখা যাইতেছিল এবং B নলের সংলগ্ন S_2 রৌপ্যতলও বরাবর চক্চকে দেখা যাইতেছিল, কারণ ইহার সহিত A নলের কোন সংযোগ নাই। কাজেই ঘরের বায়ুর উষ্ণতা t°C হইবে। রেঁনোর তালিকা হইতে t_o°C ও t°C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে f ও F দেখিয়া লইলে আপেক্ষিক আর্দ্রতার শতকরা মান $H=\left(\frac{f}{F}\times 100\right)$ পাওয়া যাইবে।

4-21. বায়ুতে জলীয় বাষ্পের উপস্থিতির জন্য কয়েকটি প্রাকৃতিক ঘটনা ঃ

(a) **শিশির** (Dews) ঃ—যদি কোন কারণে একটি বস্তুর উষ্ণতা, এবং সেই সঙ্গে উহার সংস্পৃষ্ট বাতাসের উষ্ণতা, কমিয়া বায়ুমণ্ডলের শিশিরাঙ্কের নীচে আসে তাহা হইলে বস্তুর সংস্পৃষ্ট বাতাসের মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হইয়া বস্তুর উপর জমা হয় যাহাকে **শিশির** বলে। সুতরাং নির্দিষ্ট আয়তনের স্থানীয় বাতাসের (সমস্ত বায়ুমণ্ডলের নয়) উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে যাওয়ার ফলেই শিশিরের সৃষ্টি হয়। কোন বস্তুর উপর জমা শিশিরের পরিমাণ নিম্নলিখিত বিষয়গুলির দ্বারা প্রভাবিত হয়।

(1) **বস্তুর বিকিরণ ক্ষমতা** ঃ—রাত্রিবেলায় সূর্য-তাপের অভাবে সমস্ত বস্তুই তাপ বিকিরণ দ্বারা ঠাণ্ডা হইবে। এই তাপ বিকিরণ ক্ষমতা বিভিন্ন বস্তুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন। বস্তুর উপর শিশির জমার পরিমাণ বেশী কিংবা কম হইবে যখন বস্তুটি তাপ-বিকিরণ দ্বারা উহার এবং উহার সংস্পৃষ্টে বাতাসের উষ্ণতা, বায়ুর শিশিরাঙ্কের যথাক্রমে বেশী নীচে কিংবা কম নীচে আনিতে পারিবে।

(2) **আকাশের পরিষ্কার কিংবা মেঘলা অবস্থা** ঃ—(i) বায়ুমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ, পরিষ্কার আকাশ থাকিলে কম থাকিবে এবং মেঘলা আকাশ থাকিলে বেশী থাকিবে। আবার শুষ্ক বাতাস অপেক্ষা আর্দ্র বাতাসের বিকির্ণ তাপ শোষণ করিবার ক্ষমতা বেশী। এজন্য আকাশ পরিষ্কার থাকিলে, বস্তু হইতে বিকির্ণ তাপ শুষ্ক বাতাস দ্বারা খুব কম শোষিত হওয়ায় বস্তুর তাপ খুব দ্রুতহারে বিকির্ণ হইতে থাকিবে। যখন বস্তুর এবং উহার সংস্পৃষ্ট বাতাসের উষ্ণতা বায়ুর শিশিরাঙ্কের নীচে যাইবে তখন বস্তুর উপর শিশির জমা হইবে।

(ii) আকাশ মেঘলা থাকিলে, বস্তুর দ্বারা বিকির্ণ তাপ আর্দ্র বাতাস দ্বারা শোষিত হওয়ায় বায়ুর উষ্ণতার বৃদ্ধি পাইবে। এজন্য বস্তু এবং বাতাসের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য কম হইবে এবং বস্তু হইতে তাপ খুব কম হারে বিকির্ণ হইবে। তাপ কম হারে বিকির্ণ হওয়ায়, বস্তুর উষ্ণতা হয় বায়ুর শিশিরাঙ্কের উপরে থাকিবে কিংবা কমিলেও শিশিরাঙ্কের সামান্য নীচে যাইবে। ইহার ফলে বস্তুর উপর হয় মোটেই শিশির জমা হইবে না কিংবা হইলেও খুব সামান্য পরিমাণ হইবে।

(3) **বায়ুপ্রবাহের প্রভাব** ঃ—(i) বস্তু যখন তাপ বিকিরণ দ্বারা ঠাণ্ডা হইতে থাকে তখন বায়ুপ্রবাহ না থাকিলে, বায়ু ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে অনেকক্ষণ থাকে। যখন এই সংস্পৃষ্ট বাতাসের উষ্ণতা ক্রমশঃ কমিয়া উহার শিশিরাঙ্কের নীচে যায় তখন বস্তুর উপর শিশির জমা হয়।

(ii) কিন্তু বায়ুপ্রবাহ থাকিলে, বায়ু খুব অল্প সময়ের জন্য ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পর্শে থাকে।

এই অল্প সময়ের মধ্যে বায়ুর উষ্ণতা উহার শিশিরাঙ্কের নীচে যাইবার পূর্বেই উহা বিতাড়িত হইয়া যায়। ইহার ফলে বস্তু ঠাণ্ডা হইলেও উহার উপর শিশির জমা হয় না।

(4) **ভূ-পৃষ্ঠ হইতে বস্তুর নৈকট্য** :—(i) যে বস্তুটি তাপ বিকিরণ দ্বারা ঠাণ্ডা হইতেছে তাহা যদি ভূ-পৃষ্ঠের **অতি নিকটে** থাকে তাহা হইলে বস্তুর সংস্পৃষ্ট বাতাস ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হইলেও বেশী নীচে যাইতে পারে না। কিছুক্ষণের মধ্যেই বস্তু হইতে ভূ-পৃষ্ঠ পর্যন্ত সমস্ত বাতাস ঠাণ্ডা হইয়া যাইবে এবং উহাদের উষ্ণতা যখন বায়ুর শিশিরাঙ্কের নীচে যাইবে তখন বস্তুর উপর শিশির জমা হইবে।

(ii) কিন্তু বস্তুটি যদি ভূ-পৃষ্ঠ হইতে বেশ কিছুটা উপরে থাকে তাহা হইলে ঠাণ্ডা বস্তুর সংস্পৃষ্ট বাতাস ঠাণ্ডা হইয়া ভারী হইবে এবং উহার উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে যাইবার পূর্বেই ঐ ঠাণ্ডা ভারী বাতাস ভূ-পৃষ্ঠের দিকে চলিয়া যাইবে। এই চলিয়া যাওয়া বাতাসের স্থান উপরের গরম বাতাস অধিকার করিবে এবং ইহাও পূর্বের বায়ুর পথ অনুসরণ করিবে। অর্থাৎ ইহাও ঠাণ্ডা এবং ভারী হইবে এবং উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে যাইবার পূর্বেই নীচে চলিয়া যাইবে। এই কারণে ভূ-পৃষ্ঠ হইতে বেশ কিছু উপরের বস্তুর উপর শিশির জমা হইবে না।

(b) **কুয়াশা** (Fogs) :—যদি কোন কারণে ভূ-পৃষ্ঠের নিকটস্থিত বায়ুমণ্ডলের একটি বড় অংশের উষ্ণতা উহার শিশিরাঙ্কের নীচে নামিয়া যায় তাহা হইলে বায়ুতে বিদ্যমান জলীয় বাষ্প বাতাসে ভাসমান ধূলিকণা প্রভৃতির উপর জমিয়া কুয়াশার সৃষ্টি করে। অতএব দেখা যাইতেছে যে, যদি বায়ুমণ্ডলের একটি বড় অংশের উষ্ণতা উহার শিশিরাঙ্কের নীচে যায় তবেই কুয়াশার সৃষ্টি হয়।

বাতাসের উষ্ণতা যখন পুনরায় উহার শিশিরাঙ্কের উপর উঠিয়া যাইবে তখন আর কুয়াশা থাকে না। এজন্য শীতের প্রভাতে যে কুয়াশা দেখা যায় তাহা দুপুরের পূর্বেই তিরোহিত হয়। কারণ দিন বাড়ার সঙ্গে সঙ্গে বাতাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় এবং যখন ঐ উষ্ণতা বায়ুর শিশিরাঙ্কের উপরে যায় তখন কুয়াশা (যাহা ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণা) বাষ্পীভূত হইয়া বায়ুতে মিশিয়া যায়।

(c) **মেঘ** (Clouds) :—বায়ুমণ্ডলের চাপ ও উষ্ণতা ভূ-পৃষ্ঠের কাছে বেশী এবং যত উপরে উঠা যায় উহার চাপ এবং উষ্ণতা কমিতে থাকে। বাতাসে যখন জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী হয় তখন উহা হাল্‌কা হইয়া যায় এবং পরিচলন স্রোত দ্বারা উর্ধ্বে উঠিয়া বায়ুর নিম্নচাপের ও তাপের বলয়ে প্রবেশ করে। এখানে চাপ কম থাকায় উর্ধ্বে উঠিয়া আসা বাতাসের প্রসারণ হয়। এই উচ্চ স্তরের বাতাসের উষ্ণতা এমনিতেই কম তাহার উপর বায়ুর প্রসারণ জনিত উহার উষ্ণতা আরও কমিয়া যায়। যখন বায়ুর এই নিম্ন উষ্ণতা উহার শিশিরাঙ্কের নীচে যায় তখন বায়ুতে ভাসমান কোন কণাকে (ভাসমান ধূলিকণা কিংবা আয়ন প্রভৃতি) আশ্রয় করিয়া বায়ুর মধ্যস্থ জলীয় বাষ্প ঘনীভূত হয় এবং

ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলকণার সৃষ্টি করিয়া বাতাসে ভাসিতে থাকে। এই ভাসমান জলকণাগুলির এক বিস্তৃত সমবায়ের নাম **মেঘ**। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে যে মেঘ ও কুয়াশা একই নিয়মে গঠিত হয়, তবে মেঘ বায়ুর উচ্চস্তরে গঠিত হয় এবং ভাসিয়া বেড়াইতে পারে আর কুয়াশা ভূ-পৃষ্ঠের নিকটস্থ বায়ুস্তরে গঠিত হয় এবং স্থির থাকে।

বিভিন্ন অবস্থায় মেঘের সৃষ্টি হওয়ার জন্য বিভিন্ন ধরনের মেঘ দেখা যায়। ভূ-পৃষ্ঠ হইতে প্রায় এক মাইলের মধ্যে **জলদমেঘ** (nimbus cloud) এবং **স্তরমেঘ** (stratus cloud) থাকে। জলদ মেঘে বৃষ্টি হয়। স্তরমেঘ বর্ষাকালে বা শরৎকালে পূর্ব বা পশ্চিম আকাশের কোণে কোণে থরে থরে সাজানো থাকে। এই মেঘ আকাশে বেশীক্ষণ থাকে না কিংবা ইহা হইতে বৃষ্টি হয় না। ভূ-পৃষ্ঠ হইতে প্রায় সাড়ে-তিন মাইল উপরে আর একপ্রকার মেঘ দেখা যায় যাহাকে **স্তূপ মেঘ** (cumulus cloud) বলে। ইহা দেখিতে পেঁজা তুলার মত সাদা। বায়ুর ট্রোপোস্ফিয়ারের প্রায় শেষ প্রান্তে (বিষুব রেখা হইতে ট্রোপোস্ফিয়ারের উচ্চতা প্রায় 10 মাইল) আর একপ্রকার মেঘ দেখা যায় যাহাকে **ঘন মেঘ বা অলক মেঘ** (cirrus cloud) বলে। এই মেঘ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র বরফকণার দ্বারা গঠিত।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 4]

1. পদার্থ কি কি অবস্থায় থাকিতে পারে? কি কারণে পদার্থ বিভিন্ন অবস্থায় যায়? পদার্থের বিভিন্ন অবস্থার মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি? [Art. 4-1]

2. পদার্থের লীনতাপ কাহাকে বলে? উহার সহিত ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপের কি পার্থক্য? লীনতাপ থার্মোমিটারে ধরা পড়ে না কেন? সি. জি. এস. এবং এফ্. পি. এস. পদ্ধতিতে লীনতাপের একক কি হইবে এবং উহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ কিরূপ হইবে? [Art. 4-2]

3. কয়প্রকার লীনতাপ আছে? উহাদের সংজ্ঞা লিখ। বরফ গলনের লীনতাপ 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে এবং স্টীমের ঘনীভবনের লীন তাপ 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে। এই দুই উক্তি দ্বারা কি বোঝা যায়? কি কি পরীক্ষা দ্বারা ঐ উক্তির সত্যতা নির্ধারণ করা যায়। [Arts. 4-3 হইতে 4-5]

4. কঠিনের গলনাঙ্ক এবং তরলের হিমাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। 'সীসার গলনাঙ্ক 327°C এবং বিশুদ্ধ জলের হিমাঙ্ক 0°C'। উক্তি দুইটি দ্বারা কি বোঝা যায়? কঠিনের গলনাঙ্ক কিভাবে নির্ণয় করা যায়? [Art. 4-6]

5. কঠিনের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহার গলনাঙ্ক কিভাবে পরিবর্তন হয়? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। বরফের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহার গলনাঙ্ক যে কমিয়া যায় তাহা দেখাইবার একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। পুনঃশিলীভবন বলিতে কি বুঝ? [Art 4-7]

6. বিশুদ্ধ কঠিন কিংবা তরল পদার্থের সহিত অন্য কোন অশুদ্ধি মিশ্রিত থাকিলে ঐ অশুদ্ধির দ্বারা কঠিনের গলনাঙ্ক এবং তরলের হিমাঙ্ক কিভাবে প্রভাবিত হয়? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। ইউটেকটিক উষ্ণতা, ইউটেকটিক মিশ্রণ এবং হিম-মিশ্রণ বলিতে কি বুঝ? [Art. 4-8]

7. বাষ্প কাহাকে বলে? গ্যাসের সহিত ইহার কি পার্থক্য? বাষ্প চাপ, সংপৃক্ত বাষ্প চাপ এবং অসংপৃক্ত বাষ্প চাপ দ্বারা কি বুঝ? সংপৃক্ত ও অসংপৃক্ত বাষ্পের মধ্যে কি পার্থক্য? এই দুই প্রকার বাষ্প গ্যাসের সূত্রগুলি মানিয়া চলে কি? [Art. 4-9]

8. বাষ্পীভবন এবং ঘনীভবন বলিতে কি বুঝ এবং উহাদের মধ্যে কি পার্থক্য ? বাষ্পীভবন কি কি উপায়ে হইতে পারে এবং কাহাদের দ্বারা তরলের বাষ্পায়নের হার প্রভাবিত হয় ? [Arts. 4 10, 4-11]

9. তরলের বাষ্পায়নে শৈত্যের উৎপত্তি হওয়ার কয়েকটি ঘটনার উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [Art. 4-12]

10. তরলের স্ফুটন কখন হয় ? কিভাবে বোঝা যায় যে তরলের স্ফুটন হইতেছে ? স্ফুটনাঙ্কের সংজ্ঞা লিখ। 'অ্যালকোহলের স্বাভাবিক স্ফুটনাঙ্ক 78°C'—এই উক্তি দ্বারা কি বোঝা যায় ? যে শর্তে তরলের স্ফুটন সম্ভব তাহা দেখাইতে একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Arts. 4-13, 4-14]

11. তরলের স্ফুটনাঙ্ক কি কি বিষয় দ্বারা প্রভাবিত হয় ? প্রমাণ কর যে, (i) তরলের উপর বায়ুর চাপ কম থাকিলে কিংবা বেশী থাকিলে উহার স্ফুটনাঙ্ক যথাক্রমে হ্রাস কিংবা বৃদ্ধি পায়, (ii) তরলকে যে কোন উষ্ণতায় ফোটান সম্ভব। [Arts. 4-15, 4-16]

12. এমন একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর যাহা দ্বারা কোন তরলের সংপৃক্ত বাষ্পের চাপ যে কোন উষ্ণতায় নির্ণয় করা যায়। [Art. 4-16(2)(b)]

13. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির যথাযথ উত্তর লিখ :—(1) পিতলের কলসের জল অপেক্ষা মাটির কলসের জল বেশী ঠাণ্ডা হয়। (2) আখের রসকে গুড়ে পরিণত করিতে খুব বড় অগভীর কড়াই লওয়া হয় কেন ? (3) বর্ষাকালে ভিজা কাপড় গায়ে জড়াইয়া রাখা অস্বাস্থ্যকর। (4) ডিমকে যেখানে সিদ্ধ করিবারই উদ্দেশ্য সেখানে জল ফুটিয়া উঠিলে অগ্নিশিখা ছোট করা বাঞ্ছনীয়। (5) ব্যারোমিটারের পারদের উপরে জল ঢুকাইয়া দিলে পারদস্তম্ভ নামিয়া যায় কেন ? পারদস্তম্ভের অবনতি দেখিয়া ঘরের উষ্ণতা স্থির করা যায় কি ?

14. হাইগ্রোমিতি বলিতে কি বুঝ ? শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতার সংজ্ঞা লিখ। উহারা কি কি বিষয়ের দ্বারা প্রভাবিত হয় ? রেঁনোর হাইগ্রোমিটারের বিবরণ দাও। ইহার দ্বারা বায়ুর শিশিরাঙ্ক ও আপেক্ষিক আর্দ্রতা কিভাবে নির্ণয় করিবে ? বায়ুর কি অবস্থায় উহার শিশিরাঙ্ক শূন্য হয় এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা 1 হয় ? [Arts. 4-18, 4-19, 4-20]

15. শিশির, কুয়াশা ও মেঘ কিভাবে গঠিত হয় ? বেশী শিশির জমা হওয়ার অনুকূল অবস্থা কি কি ? [Art. 4-21]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 4]

A. Yes or no type : (1) বরফের সঙ্গে লবণ মিশাইলে উহাদের উষ্ণতা কি 0°C-এর উপরে যায় ? (2) জলের সঙ্গে চিনি মিশাইলে ঐ দ্রবণের স্ফুটনাঙ্ক কি বৃদ্ধি পায় ? (3) পদার্থের অবস্থান্তর করিবার জন্য যে তাপ প্রয়োগ করা হয় তাহা কি থার্মোমিটারে ধরা যায় ? (4) সব তরলের স্ফুটনাঙ্কই কি এক ? (5) ঘরে জল ছিটাইয়া দিলে বায়ুর শিশিরাঙ্ক বাড়িবে কি ?

B. True or False type : (1) বাষ্প এবং গ্যাসের মধ্যে কোন পার্থক্য নাই। শীতকালে পিতলের কলসের জল যেরূপ গরম থাকে মাটির কলসের জল সেরূপ গরম থাকে না। (3) এক গ্রাম বরফের আয়তন যাহা হইবে, এক গ্রাম জলের আয়তন তাহা অপেক্ষা বেশী হইবে। (4) তাপ প্রয়োগ দ্বারা পদার্থের যে কোন অবস্থায় উষ্ণতা-বৃদ্ধি করা যায়। (5) বায়ুমণ্ডলের উষ্ণতা শিশিরাঙ্কের নীচে গেলে শিশির ও কুয়াশা হয়।

C. Completion type : (1) তরলের কেবল উপরতল হইতে সর্ব—মন্থর গতিতে তরলের বাষ্পে পরিণতিকে—বলে। (2) কোন পদার্থের যখন—হইতে থাকে তখন উহার উপর তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলেও উহার–বৃদ্ধি হয় না। (3) বরফের উপর চাপ প্রয়োগ করিলে উহার—কমিয়া যায় কিন্তু উহার তরল অবস্থার উপর চাপ প্রয়োগ করিলে ঐ তরলের স্ফুটনাঙ্ক—যায়। (4) —স্থির রাখিয়া এক গ্রাম পদার্থের—করিতে যে তাপের প্রয়োজন হয় তাহাকে ঐ পদার্থের—বলে। (5) মেঘ ও কুয়াশা একই নিয়মে গঠিত হয় তবে মেঘ বায়ুর—গঠিত হয় এবং কুয়াশা বায়ুর নিম্নস্তরে গঠিত হইয়া থাকে।

D. Multiple choice type : (1) তাপ প্রয়োগেও যদি পদার্থের উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাস না হয় তাহা হইলে ঐ তাপকে কি তাপ বলে ?—ইন্দ্রিয়গ্রাহ্য তাপ, লীন তাপ, আপেক্ষিক তাপ। (2) কোন তরলের বাষ্পায়ন খুব দ্রুত করা হইলে কি হইবে ?—তরল দ্রুত ঠাণ্ডা হইবে, বাহির হইতে তাপ দ্রুত তরলে প্রবেশ করিয়া উহার উষ্ণতা স্থির রাখিবে, তরলের পরিমাণ কমিতে থাকিবে এবং উষ্ণতা বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে। (3) স্ফুটন ও বাষ্পায়নের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি ?—দুই পদ্ধতিতেই তরল বাষ্পে পরিণত হয়, কাজেই উহাদের মধ্যে কোন পার্থক্য নাই ; স্ফুটনে তরলের সমস্ত অংশ হইতে এবং নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বাষ্প উঠিতে থাকে কিন্তু বাষ্পায়নে তরলের কেবলমাত্র উপরতল হইতে এবং সর্ব উষ্ণতায় বাষ্প উঠিতে থাকে। (4) বরফের উপর তাপ প্রয়োগ করিয়া উহাকে স্টীমে পরিণত করিলে উহার আয়তন কোন্ সময় সর্বনিম্ন হয় ? —যখন বরফ অবস্থায় থাকে, যখন 0°C উষ্ণতার জল হয়, যখন 4°C উষ্ণতার জল হয়, যখন 100°C উষ্ণতার জল হয়। (5) বায়ুর শিশিরাঙ্ক ঘরের উষ্ণতা হইলে কি বুঝা যাইবে ?—বায়ু জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত আছে ; বায়ু সম্পূর্ণ শুষ্ক।

কষা-অঙ্ক (Worked-out Sums) [অধ্যায় 4]

1. নিম্নলিখিত মিশ্রণগুলিতে কি ফল হইবে স্থির কর যখন, -20°C উষ্ণতার 2 গ্রাম বরফের সহিত (*a*) 100°C উষ্ণতার 5 গ্রাম তামা মেশান হইল, (*b*) 80°C উষ্ণতার 5 গ্রাম জল মেশান হইল। তামার এবং বরফের আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে ·1 ও ·5। বরফ গলনের লীনতাপ = 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

উঃ। (*a*) (i) 2 গ্রাম -20°C বরফকে 0°C উষ্ণতায় আনিতে এবং পরে ঐ উষ্ণতায় উহাকে জলে পরিণত করিতে প্রয়োজনীয় তাপ $= H_1 = 2 \times \cdot 5 \times 20 + 2 \times 80 = 180$ ক্যালরি। (ii) 5 গ্রাম 100°C উষ্ণতার তামাকে 0°C উষ্ণতায় আনিতে যে তাপ বর্জিত হইবে তাহার পরিমাণ $= H_2 = 5 \times \cdot 1 \times 100 = 50$ ক্যালরি।

যেহেতু $H_1 > H_2$, সেইহেতু উষ্ণ তামার দ্বারা বর্জিত তাপ সমস্ত বরফকে 0°C-এ আনিবে (ইহার জন্য মাত্র 20 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন) এবং ঐ 0°C উষ্ণতার বরফের কিছু অংশ (ধরা যাক্ x গ্রাম) 0°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইবে।

অতএব, $2 \times \cdot 5 \times 20 + x \times 80 = 50$; অথবা, $x = \frac{3}{8}$ গ্রাম।

সুতরাং মিশ্রণে থাকিবে, $\frac{3}{8}$ গ্রাম জল, $1\frac{5}{8}$ গ্রাম বরফ এবং 5 গ্রাম তামা এক সকলেরই উষ্ণতা 0°C হইবে।

(*b*) [(i)— (*a*) অংশের অনুরূপ]। (ii) 5 গ্রাম 80°C উষ্ণতার জলকে 0°C উষ্ণতায় আনিতে যে তাপ বর্জিত হইবে তাহার পরিমাণ $= H_2 = 5 \times 1 \times 80 = 400$ ক্যালরি। এখানে $H_2 > H_1$। কাজেই উষ্ণ জল দ্বারা বর্জিত তাপ সমস্ত বরফকে 0°C-এ আনিবে এবং ঐ 0°C উষ্ণতার সমস্ত বরফ জলে পরিণত হইবার পরও উহার উষ্ণতা t°C বৃদ্ধি পাইবে। এই t°C মিশ্রণেরও উষ্ণতা হইবে। কাজেই, বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ = জল দ্বারা বর্জিত তাপ। অতএব,

$2 \times \cdot 5 \times 20 + 2 \times 80 + 2 \times t = 5(80 - t)$; অথবা, $t = 31 \cdot 43^\circ$C।

2. একটি পাত্রের জলে কিছু বরফ লইয়া 100°C উষ্ণতার স্টীম জলের মধ্যে অতিক্রম করান হইল। যখন 1·5 গ্রাম স্টীম জলে পরিণত হইল তখন পাত্রের বরফমিশ্রিত জলের উষ্ণতা 4°C হইল। জলসমেত পাত্রের জলসম 50 গ্রাম হইলে পাত্রের মধ্যে কি পরিমাণ বরফ ছিল? বরফের এবং স্টীমের লীনতাপ যথাক্রমে 80 এবং 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

উঃ। (i) 1·5 গ্রাম 100°C উষ্ণতার স্টীম যখন 4°C উষ্ণতার জলে পরিণত হইল তখন উহা দ্বারা বর্জিত তাপ $=H_1=1{\cdot}5\times540+1{\cdot}5\times(100-4)=810+144=954$ ক্যালরি।

(ii) যদি পাত্রের জলের মধ্যে m গ্রাম বরফ থাকে তাহা হইলে পাত্র, পাত্রস্থ জল এবং বরফ দ্বারা গৃহীত তাপ $=H_2=(m\times80+m\times4)+50\times4=84m+200$। যদি তাপ অন্যভাবে নষ্ট না হয় তাহা হইলে $H_1=H_2$। অতএব,

$84m+200=954$; অথবা, $84m=754$; অথবা, $m=8{\cdot}976$ গ্রাম।

3. বায়ুচাপ, স্বাভাবিক চাপ হইতে 26 মিলিমিটার পরিবর্তন করিলে, জলের স্ফুটনাঙ্ক 1°C দ্বারা পরিবর্তন হয়। দার্জিলিং-এ বায়ুচাপ 58 সে. মি. হইলে ওখানে জলের স্ফুটনাঙ্ক কত হইবে?

উঃ। বায়ুচাপ 76 সে. মি. থাকিলে জলের স্ফুটনাঙ্ক 100°C হয়। দার্জিলিং-এ বায়ুচাপের পরিবর্তন $=76-58=18$ সে. মি. $=180$ মি. মি.। কাজেই 26 মি. মিটারে যদি স্ফুটনাঙ্ক 1°C পরিবর্তন হয় তাহা হইলে 180 মি. মিটারে স্ফুটনাঙ্কের পরিবর্তন হইবে $\frac{180}{26}=7$°C প্রায়। অতএব দার্জিলিং-এ জলের স্ফুটনাঙ্ক হইবে $(100-7)=93$°C।

4. 0°C উষ্ণতার 100 সি. সি. জলকে ঐ উষ্ণতায় বরফে পরিণত করিলে বরফের আয়তন 109 সি. সি. হয়। একটি পাত্রের বরফ মিশ্রিত জলে কত তাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের আয়তন 50 ঘন মিলিমিটার দ্বারা কমিয়া যাইবে?

উঃ। 50 ঘন মিলিমিটার $=50/1000=1/20$ সি. সি.। 100 সি. সি. 0°C উষ্ণতায় জলের ওজন প্রায় 100 গ্রাম। অতএব 100 গ্রাম বরফকে (যাহার আয়তন 109 সি. সি.) জলে পরিণত করিলে উহার আয়তন 9 সি. সি. দ্বারা কমিয়া যায়। সুতরাং (1/20) সি. সি আয়তন কমাইতে যে পরিমাণ বরফ গলাইতে হইবে তাহা $\frac{100}{9}\times\frac{1}{20}=\frac{5}{9}$ গ্রাম। আবার $\frac{5}{9}$ গ্রাম বরফ গলাইতে তাপের প্রয়োজন $\frac{5}{9}\times80=44{\cdot}4$ ক্যালরি। সুতরাং জল এবং বরফের মিশ্রণে 44·4 ক্যালরি-তাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের আয়তন 50 ঘন মিলিমিটার দ্বারা কমিয়া যাইবে।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 4]

1. 20°C উষ্ণতার 100 গ্রাম টিনের গলনের জন্য কি পরিমাণ তাপ লাগিবে? টিনের আ. তা. = ·055 ; গলনাঙ্ক = 232°C ; লীনতাপ = 14 ক্যালরি/গ্রাম। [*Ans.* 2565 ক্যালরি]

2. 0°C উষ্ণতার কত গ্রাম ইথারের বাষ্পীভবন দ্বারা ঐ উষ্ণতার 5 গ্রাম জল বরফ হইবে? ইথার এবং জলের লীনতাপ যথাক্রমে 95 এবং 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে। [*Ans.* 4·21 গ্রাম]

3. 0°C উষ্ণতার 2 গ্রাম বরফের সহিত 45°C উষ্ণতার 3 গ্রাম জল মিশাইলে কি হইবে?

[*Ans.* $\frac{5}{16}$ গ্রাম বরফ এবং $4\frac{11}{16}$ গ্রাম জল উভয়েরই উষ্ণতা 0°C]

4. 100°C উষ্ণতার 8 গ্রাম তামার সহিত, 0°C উষ্ণতার 2 গ্রাম বরফ মিশাইলে কি হইবে? তামার আ. তা. = ·1 [*Ans.* 1 গ্রাম বরফ, 1 গ্রাম জল এবং 8 গ্রাম তামা 0°C উষ্ণতায় থাকিবে]

5. এক কিলোগ্রাম জল ও এক কিলোগ্রাম বরফের মিশ্রণের মধ্যে 100 গ্রাম স্টীম (যাহার উষ্ণতা = 100°C) চালনা করা হইল। মিশ্রণের প্রাথমিক এবং অন্তিম উষ্ণতা কত হইবে এবং কতগ্রাম বরফের গলন হইবে? স্টীমের এবং বরফের লীনতাপ যথাক্রমে 540 এবং 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে। (H.S. 1964)

[*Ans.* 800 গ্রাম বরফ গলিবে এবং প্রাথমিক ও অন্তিম উষ্ণতা 0°C হইবে]

6. 100°C উষ্ণতার 100 গ্রাম স্টীম হইতে 64800 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশন করিলে কি হইবে?

[*Ans.* 10 গ্রাম বরফ এবং 90 গ্রাম জল 0°C উষ্ণতায় পাওয়া যাইবে]

7. 30°C উষ্ণতার 10 গ্রাম জলের মধ্যে 2·5 গ্রাম বরফ ফেলা হইল। ঐ মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে? (H. S. 1968) [*Ans.* 8°C]

8. 100°C উষ্ণতার 10 গ্রাম ধাতু কোন পাত্রের জল এবং বরফের মিশ্রণের মধ্যে ফেলিলে ঐ মিশ্রণের আয়তন 125 ঘন মিলিমিটার দ্বারা কমিয়া যায়। ধাতুর আপেক্ষিক তাপ কত হইবে? 0°C উষ্ণতার 100 সি. সি. জল ঐ উষ্ণতায় বরফ হইলে 109 সি. সি. হয়। [*Ans.* আ. তা = 1/9]

9. −20°C উষ্ণতার 5 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতার স্টীমে পরিণত করিতে কি পরিমাণ তাপ লাগিবে? বরফের আ. তা. = ·5 ; বরফের এবং স্টীমের লীনতাপ যথাক্রমে 80 এবং 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে। [*Ans.* 3650 ক্যালরি]

10. 0°C উষ্ণতার একখণ্ড বরফ, ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ 180 গ্রাম জলের মধ্যে ফেলা হইল যাহাদের উষ্ণতা 20°C। ক্যালরিমিটারের জলসম 20 গ্রাম এবং জল ও বরফের মিশ্রণের উষ্ণতা 10°C হইলে, ক্যালরিমিটারের জলে কত গ্রাম বরফ যোগ করা হইয়াছিল? ক্যালরিমিটারের মধ্যস্থ তরলের আ. তা. = ·49। [*Ans.* 12·02 গ্রাম]

11. 25°C উষ্ণতার 20 গ্রাম জলকে একটি রেফ্রিজারেটার মধ্যে রাখিলে ঐ জল আধ ঘণ্টায় −10°C উষ্ণতার বরফে পরিণত হয়। প্রতি মিনিটে কত তাপ নিষ্কাশিত হইল? বরফের আ. তা. ·5।

[*Ans.* প্রায় 92 ক্যালরি]

12. 56°C উষ্ণতার 500 সি. সি. পারদকে একটি বরফের ব্লকের গর্তের মধ্যে ফেলিলে 159 গ্রাম বরফ জলে পরিণত হয়। পারদের আপেক্ষিক তাপ কত? পারদের ঘনত্ব = 13·6 গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে।

[*Ans.* ·03365]

13. বায়ুর উষ্ণতা 15°C এবং উহার শিশিরাঙ্ক 5°C। 15°C উষ্ণতার বায়ুর মধ্যস্থ জলীয় বাষ্পের চাপ কত? 4°C ও 6°C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ যথাক্রমে 6·1 মি. মি. ও 7 মি. মি.। বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা কত হইবে যখন 15°C উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ 11·9 মি. মি.?

[*Ans.* 6·55 মি. মি. ; 55%]

অধ্যায় 5

তাপের যান্ত্রিক সমতা
(Mechanical equivalent of heat)

5-1. তাপ একপ্রকার শক্তি (Heat is a form of energy) ঃ রামফোর্ড এবং ডেভি (Rumford & Davy) নানারূপ পরীক্ষা করিয়া দেখিলেন যে, যখন দুই বস্তুর মধ্যে ঘর্ষণ হয় তখনই তাপ উৎপন্ন হয় এবং যত বেশী সময় ধরিয়া উহাদের মধ্যে ঘর্ষণ হয় উৎপন্ন তাপের পরিমাণও তত বেশী হয়। এই ঘটনা হইতে তাঁহারা সিদ্ধান্ত করিলেন যে ঘর্ষণের ফলে বস্তুর অণুগুলির গতি বৃদ্ধি পায় এবং এই বর্ধিত গতির জন্য যে গতিশক্তির বৃদ্ধি হয় তাহাই তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

পরীক্ষা দ্বারা আরও দেখা গিয়াছে যে, কোন বস্তুতে তাপ উৎপন্ন হইলে অপর কোন শক্তির বিনিময়ে ঐ তাপের উৎপত্তি হয়। যথা,—(i) কয়লা, পেট্রোল, রান্নার গ্যাস, কেরোসিন প্রভৃতি পুড়াইয়া যখন আমরা তাপ উৎপন্ন করি তখন ঐ সব পদার্থের মধ্যে সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিই তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। (ii) বৈদ্যুতিক বাতির তারের মধ্যে যখন তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করা হয় তখন উহা তাপ ও আলোক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়। (iii) দুই হাতের তালু পরস্পর ঘর্ষণ করিলে কিছুক্ষণের মধ্যেই উহারা গরম হইয়া উঠে। এখানে যান্ত্রিক শক্তি তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া থাকে। (iv) কোন আবদ্ধ গ্যাসের উপর হঠাৎ চাপ প্রয়োগ করিয়া উহার আয়তন কমাইয়া দিলে ঐ গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায়। এখানে চাপ প্রয়োগ করিয়া গ্যাসকে সংকুচিত করিতে যে পরিমাণ কার্য করিতে হইল তাহাই তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া গ্যাসের উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিল। উপরের উদাহরণগুলির দ্বারা প্রমাণিত হইল যে তাপ একটি শক্তি যাহা অন্য শক্তির রূপান্তর মাত্র।

5-2. তাপ এবং কার্যের মধ্যে সম্বন্ধ (Relation between heat and work) ঃ পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে যখনই কোন কার্য তাপে রূপান্তরিত হয় তখন উৎপন্ন তাপের পরিমাণের সহিত রূপান্তরিত কার্যের পরিমাণ সমানুপাতিক হয়। যদি W পরিমাণ কার্য ব্যয় করিয়া H পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করা হয় তাহা হইলে দেখা গিয়াছে যে $W \propto H$। অর্থাৎ, $W/H = J$ (ধ্রুবক)। এই ধ্রুবককে (J-কে) তাপের **যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক** (mechanical equivalent of heat) অথবা **জুলের তুল্যাঙ্ক** (Joule's equivalent) বলে। যখন $H = 1$, তখন $W = J$।

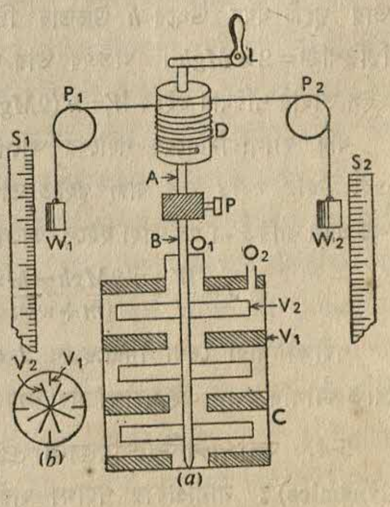
সংজ্ঞা ঃ এক একক তাপ উৎপন্ন করিতে যে পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন হয় তাহাকে তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলে।

যদি কার্যের একক **আর্গ** (কিংবা জুল $=10^7$ আর্গ) এবং তাপের একক **ক্যালরি** লওয়া হয় তাহা হইলে এক ক্যালরি তাপ উৎপন্ন করিতে যত আর্গ (কিংবা জুল) কার্য করিতে হয় তাহাই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক হইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে এই কার্যের পরিমাণ $4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ (অথবা 4·2 জুল) প্রতি ক্যালরিতে।

যদি কার্যের একক ফুট-পাউণ্ড এবং তাপের একক ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক লওয়া হয়, তাহা হইলে এক ব্রিটিশ থার্ম্যাল একক তাপ উৎপন্ন করিতে যত ফুট-পাউণ্ড কার্য করিতে হইবে তাহাই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক হইবে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে এই কার্যের পরিমাণ 778 ফুট-পাউণ্ড প্রতি বৃ. থা. এককে।

5-3. জুলের পরীক্ষা দ্বারা তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক নির্ণয় (Determination of mechanical equivalent of heat by Joule's experiment) ঃ (i) এই পরীক্ষার জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহার নক্সা 5·1নং চিত্রে দেখানো হইল। ইহাতে জানা ভরের (w গ্রাম) ক্যালরিমিটারের (C) তলদেশ দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া উহার মুখের ঢাক্‌নার O_2 ছিদ্র দিয়া জানা ভরের (m গ্রাম) কিছু জল ঢালিয়া দেওয়া হয়। ঐ O_2 ছিদ্রের মধ্যে একটি থার্মোমিটার প্রবেশ করাইয়া তাহার বাল্‌ব ক্যালরিমিটারের জলের মধ্যে ডুবাইয়া রাখা হয় যাহা দ্বারা জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি জানা যাইবে।

(ii) ক্যালরিমিটারের জলকে আলোড়িত করিবার জন্য কয়েকখানা (আটখানা) পাতযুক্ত (V_2) একটি প্যাডলের অক্ষদণ্ড (B), ক্যালরিমিটারের মুখের O_1 ছিদ্রের মধ্য দিয়া উহার অক্ষ বরাবর প্রবেশ করানো হয়। প্যাডলের পাতগুলি (V_2) ক্যালরিমিটারের ভিতরের দেওয়াল-সংলগ্ন কয়েকখানা (চারখানা) সমকোণে অবস্থিত পাতের (V_1) ফাঁকে ফাঁকে ঘুরিতে পারে। প্যাডলের অক্ষদণ্ডটিকে (B) ঘুরাইবার জন্য উহার সহিত একটি ড্রামের (D) অক্ষদণ্ড (A) পিন (P) দ্বারা আটকাইয়া রাখা হয়। প্রয়োজনে ঐ পিন (P) খুলিয়া দুই অক্ষদণ্ডকে (A ও B) পৃথক করাও



চিত্র 5.1 : জুলের পরীক্ষা

যায়। ড্রামের নীচে দুইগাছি স্থতার একপ্রান্ত আটকাইয়া উহাদিগকে ড্রামের গায়ে একই দিকে জড়াইয়া উপরে তোলা হয় এবং পরে ড্রামের একটি ব্যাসের বিপরীত প্রান্ত

হইতে বাহির করিয়া লওয়া হয়। ঐ দুই সূতার মুক্ত প্রান্তে সমান ভরের (M গ্রাম) দুইটি ভার (W_1 ও W_2) বাঁধিয়া উহাদিগকে দুইটি স্কেলের (যথাক্রমে S_1 ও S_2) উপরপ্রান্তের পাশে ঝুলাইয়া রাখা হয়।

(iii) এই ভার দুইটিকে h উচ্চতা হইতে (ক্যালরিমিটারের তলদেশ হইতে) নীচে পড়িতে দিলে ড্রাম (D) এবং ইহার সংলগ্ন প্যাডল ঘুরিয়া জলকে আলোড়িত করিবে। এই আলোড়িত জল, ক্যালরিমিটারের ভিতরের দেওয়াল-সংলগ্ন পাতগুলির (V_1) গায়ে ধাক্কা খাইয়া উহার গতিশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইবে।

(iv) ভার দুইটি নীচে পৌঁছিলে, পিন (P) খুলিয়া ড্রামকে প্যাডলের অক্ষদণ্ড (B) হইতে বিচ্ছিন্ন করা হইল এবং ড্রামের হাতল (L) উপযুক্ত দিকে ঘুরাইয়া সূতা দুইটিকে ড্রামের গায়ে জড়াইয়া ভার দুইটিকে পুনরায় h উচ্চতায় তোলা হইল। ড্রামকে পুনরায় প্যাডলের অক্ষের (B) সহিত পিন (P) দ্বারা যুক্ত করিয়া ভার দুইটি ছাড়িয়া দিলে উহারা পুনরায় নীচে যাইবে এবং ক্যালরিমিটারের জল আলোড়িত হইবে। এইভাবে ভার দুইটিকে কয়েকবার (ধরা যাক্ n বার) নীচে ফেলিয়া জলের কিছুটা উষ্ণতা বৃদ্ধি করা হইল। যদি ক্যালরিমিটারের জলের প্রাথমিক ও অন্তিম উষ্ণতা যথাক্রমে t_1 ও t_2 হয় তাহা হইলে জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি $= t = (t_2 - t_1)°C$।

গণনা :—ভার দুইটির নীচে পৌঁছিবার ঠিক পূর্ব-মুহূর্তে যদি উহাদের বেগ v সে. মি./সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে উহাদের মোট গতিশক্তি হইবে $2 \times (\frac{1}{2}Mv^2) = Mv^2$। ভার দুইটি যখন উপরে h উচ্চতায় ছিল তখন অভিকর্ষের জন্য উহাদের মোট স্থিতিশক্তি $= 2 \times Mgh$। অতএব ভার দুইটির n বার পতনের জন্য যে শক্তি ব্যয়িত হইল তাহার পরিমাণ হইবে $W = n\,(2Mgh - Mv^2)$।

যদি ক্যালরিমিটারের পদার্থের আপেক্ষিক তাপ s হয় তাহা হইলে ক্যালরিমিটার এবং উহার মধ্যস্থ জল দ্বারা গৃহীত তাপ $= H = (m + ws)t$ ক্যালরি। যদি শক্তি অন্যভাবে ব্যয়িত না হয় তাহা হইলে, তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক

$$J = \frac{W}{H} = \frac{n(2Mgh - Mv^2)}{(m + ws)t} \qquad \ldots \qquad (5\text{-}3a)$$

পরীক্ষা দ্বারা দেখা গিয়াছে যে J-এর মান $4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ অথবা $4{\cdot}2$ জুল প্রতি ক্যালরিতে। এই পরীক্ষা দ্বারা কার্য এবং তাপের মধ্যে সম্বন্ধ স্থির করা হইল।

5-4. তাপগতিশাস্ত্রের প্রথম সূত্র (First law of thermodynamics) : নানাপ্রকার পরীক্ষা দ্বারা জানা যায় যে, যখন অন্য কোনও শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয় (5-1 পরিচ্ছেদ দেখ) কিংবা তাপশক্তি যখন যান্ত্রিক শক্তিতে (যেমন স্টীম এবং পেট্রোল এঞ্জিনে) অথবা বৈদ্যুতিক শক্তিতে (যেমন থার্মোকাপ্‌লে) রূপান্তরিত হয় তখন তাপ ও শক্তির মধ্যে একটি ঘনিষ্ঠ সম্বন্ধ থাকে।

এই সম্বন্ধটি যে সূত্রাকারে প্রকাশিত হয় সেই সূত্রকেই 'তাপগতিশাস্ত্রের প্রথম সূত্র' বলিয়া অভিহিত করা হয়। এই সূত্র বিবৃত করে যে,

যখনই কোন শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয় কিংবা তাপ অন্য কোন শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তখন শক্তি (W) এবং তাপ (H) পরস্পর সমানুপাতিক হয়; $W/H=J$ (ধ্রুবক) হয়। এই ধ্রুবক J-কে জুল তুল্যাঙ্ক বা তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলে (5-2 পরিচ্ছেদ দেখ)। এই সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ পূর্ব পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে।

5-5. সমোষ্ণতায় এবং রুদ্ধ-তাপে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তন (Isothermal and adiabatic changes of the volume of a gas)ঃ কোন আবদ্ধ গ্যাসের আয়তন, দ্রুত সংকুচিত কিংবা প্রসারিত করিলে যথাক্রমে উহার তাপমাত্রা বৃদ্ধি কিংবা হ্রাস পায়।

(i) **সমোষ্ণতায় পরিবর্তন:** যদি গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তনে, উহার উষ্ণতার কোনরূপ হ্রাস-বৃদ্ধি না হয় তাহা হইলে গ্যাসের ঐ পরিবর্তনকে **সম-উষ্ণতায় পরিবর্তন** (Isothermal change) বলে। এইরূপ পরিবর্তন বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে। যদি নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের কোন অবস্থায় উহার আয়তন V হয় এবং চাপ P হয় তাহা হইলে ঐ গ্যাসের সব অবস্থাতেই PV ধ্রুবক হইবে।

এইরূপ পরিবর্তন মোটামুটিভাবে পাইতে হইলে গ্যাসকে তাপের পূর্ণ-পরিবাহী একটি চোঙের মধ্যে আবদ্ধ করিয়া, উহার মুখের পিস্টনের (ইহাও পূর্ণ পরিবাহী) অবস্থান খুব **ধীরে ধীরে** পরিবর্তন করিতে হইবে যাহাতে চোঙের ভিতরের এবং বাহিরের উষ্ণতার সামান্য পার্থক্য হওয়া মাত্র, তাপ চোঙের পূর্ণ-পরিবাহী দেওয়ালের মধ্য দিয়া বেশী উষ্ণ স্থান হইতে কম উষ্ণ স্থানে পরিবাহিত হইয়া চোঙের মধ্যস্থ গ্যাসের উষ্ণতা স্থির রাখিতে পারে। সুতরাং গ্যাসের এইরূপ পরিবর্তনকে **সম-উষ্ণতায় পরিবর্তন** বলা হয়।

(ii) **রুদ্ধতাপে পরিবর্তন:** যদি গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তনে, উহার মধ্যস্থ তাপের পরিমাণের কোনরূপ হ্রাস-বৃদ্ধি না হয় (যদিও উহার উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি হইতে পারে) তাহা হইলে গ্যাসের ঐ পরিবর্তনকে **রুদ্ধতাপে পরিবর্তন** (adiabatic change) বলে। নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের এইরূপ পরিবর্তন, যে সমীকরণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাহা, $PV^{\gamma}=$ধ্রুবক। এই সমীকরণকে গ্যাসের সমতাপে পরিবর্তনের সমীকরণ (equation of adiabatic change) বলে। এখানে P ও V যথাক্রমে গ্যাসের চাপ ও আয়তন এবং $\gamma=C_p/C_v$; C_p এবং C_v যথাক্রমে গ্যাসের স্থিরচাপে এবং স্থির-আয়তনে আপেক্ষিক তাপ।

এইরূপ পরিবর্তনের জন্য গ্যাসকে তাপের পূর্ণ-অপরিবাহী একটি চোঙের মধ্যে আবদ্ধ রাখিয়া উহার মুখের পিস্টনের (ইহাও পূর্ণ-অপরিবাহী) অবস্থান খুব **দ্রুত** পরিবর্তন

করিতে হইবে যাহাতে গ্যাসের মধ্যস্থ তাপ (গ্যাসের উষ্ণতার পরিবর্তন সত্ত্বেও) চোঙের পূর্ণ-অপরিবাহী দেওয়ালের মধ্য দিয়া পরিবাহিত না হইতে পারে। ইহার ফলে গ্যাসের উষ্ণতার পরিবর্তন সত্ত্বেও উহার মধ্যস্থ তাপের পরিমাণ স্থির থাকিয়া যায়। গ্যাসের এইরূপ পরিবর্তনকেই **রুদ্ধতাপে পরিবর্তন** বলে।

5-6. গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ (Specific heats of a gas) : কঠিন এবং তরলের আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা দেবার সময় উহাদের উপর চাপের কোন উল্লেখ করা হয় না। কারণ কঠিন এবং তরলের উপর তাপ প্রয়োগ করিলে উহাদের যে আয়তন-বৃদ্ধি হয় তাহা এতই সামান্য যে, এই পরিমাণ আয়তন-বৃদ্ধির জন্য, পদার্থকে বাহিরের চাপের বিরুদ্ধে যে কাজ করিতে হয় তাহা প্রায় নগণ্য। কাজেই কঠিন এবং তরলের উপর প্রযুক্ত তাপ কেবলমাত্র উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধিতেই ব্যয়িত হয়। এই কারণে কঠিন এবং তরলের ক্ষেত্রে একটিমাত্র আপেক্ষিক তাপ থাকে যাহা সম-চাপের কিংবা সম-আয়তনের আপেক্ষিক তাপের সমান। তাপে গ্যাসের আয়তন-বৃদ্ধি (নির্দিষ্ট চাপে) অনেক বেশী। এজন্য গ্যাসের দুই প্রকার আপেক্ষিক তাপ পাওয়া যাইবে, যাহার একটিকে **নির্দিষ্ট আয়তনের** (C_v) এবং অপরটিকে **নির্দিষ্ট চাপের আপেক্ষিক তাপ** (C_p) বলে।

(i) স্থির-আয়তনের গ্যাসের উপর প্রযুক্ত তাপ কেবলমাত্র উহার উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য ব্যয়িত হয়। কাজেই এক গ্রাম গ্যাসের আয়তন স্থির রাখিয়া উহার 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপ লাগে তাহাকে ঐ গ্যাসের **স্থির-আয়তনের গ্রাম-আপেক্ষিক তাপ** (c_v) বলে। কিন্তু এক গ্রাম-অণু গ্যাসের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপ লাগে তাহাকে **স্থির-আয়তনের গ্রাম-অণু-আপেক্ষিক তাপ** (C_v) বলে। যদি গ্যাসের আণবিক ওজন M হয় তাহা হইলে $C_v = M \times c_v$।

(ii) কিন্তু যখন স্থির-চাপের গ্যাসের উপর তাপ প্রয়োগ করা হয় তখন ঐ তাপের কিছু অংশ গ্যাসের উষ্ণতা-বৃদ্ধি করে এবং অবশিষ্ট অংশ, গ্যাস তাহার স্থির-চাপের বিরুদ্ধে প্রসারিত হইবার কাজে গ্রহণ করে। কাজেই এক গ্রাম গ্যাসের চাপ স্থির রাখিয়া উহার 1°C উষ্ণতা-বদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হইবে তাহাকে গ্যাসের **স্থির-চাপের গ্রাম-আপেক্ষিক তাপ** (c_p) বলে। কিন্তু এক গ্রাম-অণু গ্যাসের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে যত ক্যালরি তাপ লাগে তাহাকে গ্যাসের **স্থির-চাপের গ্রাম-অণু-আপেক্ষিক তাপ** (C_p) বলে। যদি গ্যাসের আণবিক ওজন M হয় তাহা হইলে $C_p = M \times c_v$।

উল্লিখিত আলোচনা হইতে বোঝা যাইতেছে যে স্থিরচাপের গ্রাম-অণু আপেক্ষিক তাপ (C_p), স্থির-আয়তনের গ্রাম-অণু আপেক্ষিক তাপ (C_v) অপেক্ষা বেশী এবং এই বেশী তাপের তুল্যাঙ্ক পরিমাণ কার্য, গ্যাস তাহার স্থিরচাপের বিরুদ্ধে প্রসারিত হইবার

সময় করিয়া থাকে। দেখান যাইতে পারে যে, $C_p - C_v = R/J$। অর্থাৎ স্থির-চাপের গ্রাম-অণু আপেক্ষিক তাপ (C_p), স্থির-আয়তনের গ্রাম-অণু আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা প্রায় 2 ক্যালরি বেশী, কারণ R/J প্রায় 2 ক্যালরির সমান [2-26 পরিচ্ছেদের R-এর মানের (iii) অংশ দেখ]।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective questions) [অধ্যায় 5]

1. তাপকে কেন শক্তি বলা হয় তাহা যুক্তি দ্বারা বুঝাইয়া দাও। তাপ ও কার্যের মধ্যে সম্বন্ধ স্থির কর। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক বলিতে কি বুঝ ? উহার পরিমাণ সি. জি. এস্. এবং এফ্. পি. এস্. পদ্ধতিতে কত হইবে ? [Arts. 5-1 ও 5-2]

2. এমন একটি পরীক্ষার বিবরণ দাও যাহার দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে 4·2 জুল কার্য এক ক্যালরি তাপের তুল্যাঙ্ক। [Art. 5-3]

3. তাপগতি শাস্ত্রের প্রথম সূত্রটি বিবৃত কর। এই সূত্রের সত্যতা কিভাবে প্রমাণ করা যায় ? [Arts. 5-4 ও 5-3]

4. সম-চাপে এবং সম-তাপে গ্যাসের আয়তনের পরিবর্তনের মধ্যে যে সব পার্থক্য আছে তাহার বিবরণ দাও। গ্যাসের এই দুই প্রকার আয়তন পরিবর্তনের অবস্থা সমীকরণ কি হইবে ? [Art. 5-5]

5. কঠিন এবং তরলের এক প্রকার আপেক্ষিক তাপ থাকে কিন্তু গ্যাসের দুই প্রকার আপেক্ষিক তাপ থাকে কেন ? গ্যাসের দুই প্রকার আপেক্ষিক তাপের সংজ্ঞা লিখ। এই দুই আপেক্ষিক তাপের মান সমান না বিভিন্ন ? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে যুক্তির অবতারণা কর। [Art. 5-6]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 5]

A. Yes or no type : (1) জলের আপেক্ষিক তাপ কি তরল অবস্থায় বেশী ? (2) সম-তাপে গ্যাসের আয়তন পরিবর্তনের সময় উহার উষ্ণতা স্থির থাকে কি ? (3) নীচের বাতাস উপরে উঠিয়া গেলে উহার উষ্ণতা কমিয়া যায় কি ?

B. True or False type : (1) কোন গ্যাসের স্থির-আয়তনের আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা স্থির-চাপের আপেক্ষিক তাপ বেশী। (2) সাইকেলের টিউবে বাতাস পাম্প করিবার সময় পাম্পের নিম্নাংশ ঠাণ্ডা হইয়া যায়। (3) তাপের বিনিময়ে যে কাজ পাওয়া যায় তাহার সহিত তাপের একটি সম্বন্ধ আছে।

C. Completion type : (1) কোন গ্যাসকে—পাত্রে রাখিয়া উহার দ্রুত সংকোচন করিলে উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি হইবে কিন্তু গ্যাসের মধ্যস্থ—পরিমাণ ঠিক থাকিবে। (2) কোন গ্যাসের স্থির-চাপের আপেক্ষিক তাপ উহার—আপেক্ষিক তাপ অপেক্ষা—। (3) যখনই কোন—তাপে রূপান্তরিত হয় তখন ঐ শক্তি—সহিত সমানুপাতিক হয়।

D. Multiple choice type : (1) গ্যাসের কয়প্রকার আপেক্ষিক তাপ আছে ? — কঠিন ও তরলের ন্যায় এক প্রকার আপেক্ষিক তাপ আছে ; দুই প্রকার আপেক্ষিক তাপ আছে, যাহার একটি অপরটি অপেক্ষা বেশী। (2) যখন বাতাস নীচ হইতে উপরে যায় তখন উহার কি প্রকার প্রসারণ হয় ? —সমতাপে প্রসারণ হয় যাহার ফলে উহার উষ্ণতা কমিয়া যায় ; সম-উষ্ণতায় প্রসারণ হয় যাহার ফলে উহার উষ্ণতা স্থির থাকে ; উহার যেরূপ প্রসারণ হয় তাহাতে উপরে যাইয়া উহার উষ্ণতার বৃদ্ধি হয়।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 5]

1. 5 গ্রাম ভরের একটুকরা বরফ 12·6 কিলোমিটার উচ্চ হইতে, ক্যালরিমিটারে রক্ষিত 20°C উষ্ণতার 196 গ্রাম জলের মধ্যে পড়িল। ক্যালরিমিটারের জলসম 4 গ্রাম হইলে মিশ্রণের উষ্ণতা কত হইবে? [*Ans.* $t = 18{\cdot}28°C$]

সংকেত : [যদি মিশ্রণের উষ্ণতা t°C হয় তাহা হইলে বরফের দ্বারা গৃহীত তাপ= $H_1 = 5 \times 80 + 5t = 400 + 5t$ ক্যালরি। বরফের স্থিতিশক্তির রূপান্তরিত তাপ,

$$H_2 = \frac{mgh}{J} = \frac{5 \times 980 \times 12{\cdot}6 \times 10^5}{4{\cdot}2 \times 10^7}$$ অথবা, $H_2 = 147$ ক্যালরি।

ক্যালরিমিটার এবং উহার মধ্যস্থ জলদ্বারা বর্জিত তাপ $H_3 = 200\ (20 - t)$ ক্যালরি।

অতএব, $H_1 = H_2 + H_3$; অথবা, $(400 + 5t) = 147 + 200\ (20 - t)$; অথবা, $t = 18{\cdot}28°C$]

2. একটি জলপ্রপাতে 100 মিটার উচ্চ হইতে জল পড়িতেছে। যদি উৎপন্ন তাপের শতকরা 90 ভাগ জলের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে সমর্থ হয় তাহা হইলে নীচের জলের উষ্ণতা উপরের জলের উষ্ণতা অপেক্ষা কত বেশী হইবে?

সংকেত : [জলের স্থিতিশক্তির রূপান্তরিত তাপ$= \dfrac{mgh}{J} = \dfrac{m \times 980 \times 10^4}{4{\cdot}2 \times 10^7}$ ক্যালরি। এই উৎপন্ন তাপের 90% জলের উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কার্যকরী হইবে। কাজেই $\dfrac{m \times 980 \times 10^4}{4{\cdot}2 \times 10^7} \times \frac{90}{100} = m\theta$; অথবা, $\theta = {\cdot}21°C =$ নীচের জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি।]

3. একটি সীসার গুলি 336 মিটার / সেকেণ্ড বেগে আসিয়া একটি টার্গেটকে আঘাত করিল। যদি উৎপন্ন তাপের শতকরা 75 ভাগ গুলির মধ্যে থাকে তাহা হইলে উহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি কত হইবে?

সংকেত : [গুলির যে পরিমাণ গতিশক্তি তাপে পরিণত হইল তাহার পরিমাণ= $H_1 = \frac{1}{2}\dfrac{mv^2}{J} \times \frac{75}{100} = \frac{1}{2}\dfrac{m \times (336 \times 100)^2}{4{\cdot}2 \times 10^7}\frac{75}{100}$ ক্যালরি। যদি গুলির উষ্ণতা-বৃদ্ধি t°C হয় তাহা হইলে উহা দ্বারা গৃহীত তাপ$= m \times {\cdot}03 \times t$ (সীসার আপেক্ষিক তাপ$= {\cdot}03$)।

অতএব, $\frac{1}{2}\dfrac{m \times 336 \times 100)^2}{4{\cdot}2 \times 10^7} \times \frac{75}{100} = m \times {\cdot}03 \times t$ অথবা, $t = 335{\cdot}9°C$].

4. 42 কিলোগ্রাম ভরের একটি ধূমকেতু পৃথিবীর বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করিবার সময় উহার বেগ 15 কিলোমিটার / সেকেণ্ড হইতে কমিয়া 5 কিলোমিটার / সেকেণ্ড দাঁড়ায়। গতির এই পরিবর্তনের জন্য কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হইবে? (H. S. 1964) [*Ans.* 10^9 ক্যালরি]

সংকেত : [কার্যের পরিমাণ=গতিশক্তির পরিবর্তন$= \frac{1}{2}m(v^2 - u^2)$। এই কার্যের দ্বারা উৎপন্ন তাপ$= \dfrac{m(v^2 - u^2)}{2J}$ ক্যালরি। এখানে $m = 42 \times 10^3$ গ্রাম, $v = 15 \times 10^5$ সে. মি./সেকেণ্ড ; $u = 5 \times 10^5$ সে. মি. / সেকেণ্ড, এবং $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ / ক্যালরি। এইগুলি হইতে আমরা পাই উৎপন্ন তাপ$= \dfrac{42 \times 10^3[(15 \times 10^5)^2 - (5 \times 10^5)^2]}{2 \times 4{\cdot}2 \times 10^7} = 10^9$ ক্যালরি]

5. একটি লোহার বল (আ. তা.$= {\cdot}1$) 30 মিটার উপর হইতে নীচে আসিতে যে পরিমাণ গতিশক্তি অর্জন করিল তাহা দ্বারা বলের উষ্ণতা ·7°C বৃদ্ধি পাইল। তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক কত হইবে?

(H. S. 1961) [*Ans.* 4·2 জুল/ক্যালরি]

6. 0°C উষ্ণতার 50 গ্রাম বরফকে, 100°C উষ্ণতার জলে পরিণত করিতে কি পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন ? (H. S. 1960) [*Ans.* 37800 জুল]

7. কত উঁচু থেকে এক ফোটা বৃষ্টির জল মাটিতে পড়িবে যাহাতে উহার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি পাইতে পারে ? [*Ans.* 428·57 মিটার]

8. একটি জলপ্রপাতের উচ্চতা 80 মিটার। যদি জলের সমস্ত স্থিতিশক্তি তাপে রূপান্তরিত হয় তাহা হইলে উপরের জল হইতে নীচের জলের উষ্ণতা কত বেশী হইবে ? [*Ans.* 0·19°C প্রায়]

9. একটি 15°C উষ্ণতার সীসার বলকে এরোপ্লেন হইতে মাটিতে ফেলা হইল এবং মাটিকে আঘাত করার পর বলটি সম্পূর্ণরূপে গলিয়া গেল। যদি বলের সম্পূর্ণ গতিশক্তি তাপে পরিণত হয় তাহা হইলে এরোপ্লেনটি কত উচ্চতায় ছিল ? সীসার আপেক্ষিক তাপ = ·03 ; গলনাঙ্ক 350°C এবং লীনতাপ = 35 ক্যালরি/গ্রাম। [*Ans.* 19·31 কিলোমিটার]

10. এক কিলোগ্রাম ভরের একটি হাতুড়ি, 50 মিটার/সেকেণ্ড বেগে আসিয়া মাটির উপর রক্ষিত একটি 200 গ্রাম ভরের লোহার দণ্ডকে আঘাত করিল। যদি হাতুড়ির অর্ধেক পরিমাণ গতিশক্তি লোহার দণ্ডকে গরম করিতে কাজে লাগে তাহা হইলে দণ্ডের উষ্ণতা-বৃদ্ধি কত হইবে ? লোহার আ. তা. = ·105।
[*Ans.* প্রায় 7°C]

11. −5°C উষ্ণতার 10 গ্রাম বরফকে 100°C উষ্ণতার স্টীমে পরিণত করিতে কি পরিমাণ কার্যের প্রয়োজন হইবে ? বরফের আ. তা. = ·5, বরফের এবং স্টীমের লীনতাপ যথাক্রমে 80 এবং 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে। [*Ans.* 30345 জুল]

12. 2000 কিলোগ্রাম ভরের একটি ধূমকেতু 1000 কিলোমিটার প্রতি সেকেণ্ড বেগে সূর্যের মধ্যে পড়িল। কি পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইবে ? [*Ans.* $2{\cdot}4\times10^{14}$ ক্যালরি]

13. একটি 515 সে. মি. লম্বা নলের মধ্যে 2 কিলোগ্রাম পারদ রাখিয়া উহার দুই মুখ বন্ধ করা হইল। নলকে খুব দ্রুত 50 বার উপুড় করা হইল। পারদ যদি নলের মাত্র 15 সে. মি. দখল করে তাহা হইলে উহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি কত হইবে। পারদের আ. তা (1/30)। [*Ans.* 17·5°C]

সংকেত : [পারদের ভারকেন্দ্র 500 সে. মি. দ্বারা সরিতেছে। কাজেই 50 বার উপুড় করার জন্য মোট কার্যের পরিমাণ = $W = 2000\times980\times500\times50$ আর্গ। ইহা দ্বারা উৎপন্ন তাপের পরিমাণ $H_1 = \dfrac{2\times98\times25\times10^7}{4{\cdot}2\times10^7} = \dfrac{50\times98}{4{\cdot}2}$ ক্যালরি। পারদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি θ°C হইলে উহা দ্বারা গৃহীত তাপ $= H_2 = 2000\times\frac{1}{30}\times\theta$ ক্যালরি। সুতরাং $\dfrac{98\times50}{4{\cdot}2} = \dfrac{200}{3}\,\theta$; অথবা, $\theta = \dfrac{98\times3\times50}{4{\cdot}2\times20} = 17{\cdot}5$°C]

অধ্যায়
6

গ্যাসের গতিতত্ত্ব
(Kinetic theory of gases)

6-1. পদার্থের আণবিক গঠন সম্বন্ধীয় তথ্য (Evidence of molecular structure of matter) ঃ বহু পূর্বে হিন্দু দার্শনিক কণাদ এবং গ্রীক দার্শনিকগণ অনুমান করিয়াছিলেন যে প্রত্যেক পদার্থ ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণিকা দ্বারা গঠিত। পরে (1803 খ্রীস্টাব্দে) ইংরাজ বৈজ্ঞানিক জন ডালটন পদার্থের যে 'পরমাণুবাদ তত্ত্ব' (atomic theory) প্রকাশ করিলেন তাহাতে বলা হইল যে প্রত্যেক পদার্থ বহুসংখ্যক অতি ক্ষুদ্র, অবিভাজ্য ও নিরেট কণিকা দ্বারা গঠিত। এই কণিকাগুলিকে পরমাণু বলা হইল। এই তত্ত্বে পরমাণুকেই সবরকম পদার্থের (মৌলিক কিংবা যৌগিক পদার্থের) ক্ষুদ্রতম কণা বলিয়া ধরা হইয়াছিল তখন অণুর অস্তিত্বের কথা বলা হয় নাই।

ইহার পর অ্যাভোগাড্রো (1811 খ্রীস্টাব্দে) প্রথম অণুর কথা কল্পনা করেন। তিনি প্রত্যেক পদার্থের (মৌলিক কিংবা যৌগিক পদার্থের) সমধর্মী এবং স্বাধীন সত্ত্বাবিশিষ্ট বিভাজ্য কিংবা অবিভাজ্য ক্ষুদ্রতম কণাকে **অণু** বলিলেন। আর মৌলিক পদার্থের সমধর্মী অবিভাজ্য কণা, যাহা রাসায়নিক ক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে এবং যাহার স্বাধীন সত্ত্বা থাকিতেও পারে, নাও থাকিতে পারে তাহাকে ঐ মৌলিক পদার্থের **পরমাণু** বলিলেন।

পদার্থের অণুগুলি এত ক্ষুদ্র যে তাহাদিগকে খুব শক্তিশালী অণুবীক্ষণ যন্ত্র দ্বারাও দেখা যায় না। কাজেই পদার্থ যে বহুসংখ্যক অণু দ্বারাই গঠিত তাহার কোন প্রত্যক্ষ প্রমাণ দেওয়া সম্ভব নয়। কিন্তু পদার্থ যে বহুসংখ্যক অণু দ্বারাই গঠিত তাহা যদি ধরিয়া লওয়া হয় তাহা হইলে এই অনুমানকে ভিত্তি করিয়া অঙ্কশাস্ত্রের সাহায্যে এমন কতকগুলি সূত্রের উপপাদন (deduction) সম্ভব যাহার সত্যতা পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়। যেমন, পদার্থের আণবিক গঠনতত্ত্ব ধরিয়া লইয়া অঙ্কশাস্ত্রের সাহায্যে বয়েল ও চার্লসের সূত্র, অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প প্রভৃতি সম্বন্ধে যে সব সিদ্ধান্তে আসা গিয়াছে তাহা পরীক্ষালব্ধ ফলের সহিত মিলিয়া যায়। আবার পদার্থের আণবিক গঠনতত্ত্ব ধরিয়া লইয়া অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা, অণুর ব্যাস প্রভৃতি নির্ণয় করিলে দেখা যায় উহারা অন্যভাবে নির্ণীত ফলের সহিত মিলিয়া যায়। কাজেই পদার্থ যে বহুসংখ্যক অণু দ্বারা গঠিত তাহার প্রত্যক্ষ প্রমাণ না মিলিলেও অপ্রত্যক্ষ প্রমাণ বহু সংখ্যায় দেওয়া যায়।

6-2. পদার্থের অণুগুলির গতি সম্বন্ধীয় তথ্য (Evidence of molecular motion in matter) ঃ পদার্থের অণুগুলি যে সর্বদা গতিশীল থাকে তাহা নিম্নলিখিত ঘটনাগুলি হইতে অনুধাবন করা যাইতে পারে।

(*a*) **পদার্থের উষ্ণতার ও আয়তনের পরিবর্তন ঃ**—(i) কোন পদার্থের উপর তাপ প্রয়োগ করিলে উহার যে উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয় তাহা দ্বারাই প্রমাণিত হয় যে উহার অণুগুলি গতিশীল ছিল। কারণ পদার্থের উপর তাপ প্রয়োগের ফলে উহার অণুগুলির গতি-বৃদ্ধি হইয়াছিল এবং এই বর্ধিত গতিই তাপ শক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া উহার উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিয়াছিল।

(ii) আমরা জানি যে পদার্থের উপর তাপ প্রয়োগ করিলে উহার আয়তন বৃদ্ধি পায়। কারণ তাপ প্রয়োগ দ্বারা পদার্থের অণুগুলির গতিবেগ বর্ধিত হওয়ায় উহারা পরস্পর হইতে দূরে সরিয়া যাইতে চেষ্টা করে যাহার ফলে পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায়।

(*b*) **পদার্থের অবস্থান্তর ঃ**—পদার্থের উপর তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার যে অবস্থান্তর হয় তাহা দ্বারাও বোঝা যায় যে উহার অণুগুলি গতিশীল অবস্থায় থাকে।

(i) **কঠিনের তরলীকরণ ঃ**—কঠিনের উপর তাপ প্রয়োগ করিতে থাকিলে উহার অণুগুলির গতিবেগ বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে কিন্তু উহাদের পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণবল বেশী থাকায় ঐ বলকে অতিক্রম করিয়া স্থানান্তরে যাইতে পারে না। একটি বিশিষ্ট তাপমাত্রায় (যাহাকে কঠিনের গলনাঙ্ক বলে) কঠিনের অণুগুলির গতিবেগ এত বেশী হয় যে উহারা পরস্পরের আকর্ষণবলকে অতিক্রম করিয়া স্থানান্তরে যাইতে থাকে। ইহাই কঠিনের তরল অবস্থা যাহা পদার্থের উষ্ণতা-বৃদ্ধির সহিত উহার অণুগুলির গতিবেগ বৃদ্ধি পাওয়ার ফলেই হইয়াছে।

(ii) **বাষ্পায়ন ঃ**—তরলের সব অণুগুলির গতিবেগ এক নয়। যে সব অণুর গতি বেশী তাহারা তরলের অণুগুলির আকর্ষণবলকে অতিক্রম করিয়া বাহিরে আসে। এই বাহিরে আসা অণুগুলিকে তরলের বাষ্প বলে এবং এই ঘটনাকে তরলের বাষ্পায়ন বলে। কাজেই তরলের বাষ্পায়ন অণুর গতির অস্তিত্বের প্রমাণ দেয় এবং ইহা কেবল তরলের উপরতল হইতেই হইয়া থাকে।

(iii) **স্ফুটন ঃ**—তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি করিতে থাকিলে উহার অণুগুলির গতি বৃদ্ধি পাইতে থাকিবে এবং বেশী সংখ্যক অণু বাহিরে আসিবে। অর্থাৎ তরলের বাষ্পায়নের হার বৃদ্ধি পাইবে। তরল যখন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আসিবে (যাহাকে তরলের স্ফুটনাঙ্ক বলে) তখন বহুসংখ্যক অণুর গতিবেগ এত বৃদ্ধি পাইবে যাহার ফলে তরলের সর্বস্থান হইতে উহার অণুগুলি তরলের আকর্ষণবলকে অতিক্রম করিয়া বাহিরে আসিতে থাকিবে। এই ঘটনাকে তরলের স্ফুটন বলে যাহা তাপে অণুর গতিবৃদ্ধির ফলেই হইয়া থাকে।

(iv) **বাষ্প চাপ** :—তরলের বাহিরে আসা অণুগুলি (যাহাকে তরলের বাষ্প বলে) যদি একটি আবদ্ধ পাত্রে রাখা হয় তাহা হইলে উহারা তীব্রবেগে ছোটাছুটি করার সময় পাত্রের গায়ে যে ধাক্কা দেয় তাহার জন্য পাত্রটি একটি চাপ ভোগ করে। কাজেই বাষ্পচাপ অণুগুলির তীব্রবেগে ছোটাছুটির ফল।

(*c*) **পদার্থের ব্যাপন** (Disffusion) :—যখন কোন ভারী ফ্লুয়িডকে (তরল এবং গ্যাসকে ফ্লুয়িড বলে) কোন পাত্রের নীচে রাখিয়া তাহার উপর কোন হাল্‌কা ফ্লুয়িডকে স্থাপন করা হয় এবং উহাদিগকে কোনরূপ নাড়াচাড়া না করিয়া অনেকক্ষণ স্থির রাখা হয় তাহা হইলে দেখা যায় যে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে নীচের ভারী ফ্লুয়িড উপরের হাল্‌কা ফ্লুয়িডের মধ্যে প্রবেশ করিয়াছে। অনেকক্ষণ দুই ফ্লুয়িডকে স্থিরভাবে রাখিলে উহাদের মিশ্রণ সমসত্ব হইয়া যাইবে। এই ঘটনাকে ফ্লুয়িডের **ব্যাপন** (diffusion) বলে। দুই ফ্লুয়িডের অণুগুলির গতিবেগ থাকার দরুণ এক ফ্লুয়িডের অণু অন্য ফ্লুয়িডের মধ্যে প্রবেশ করিতে সমর্থ হইয়াছে। এই ঘটনা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে পদার্থের অণুগুলি গতিশীল অবস্থায় থাকে, স্থির থাকে না।

উদাহরণ :—(i) কার্বন ডাই-অক্সাইড ভর্তি একটি জারকে নীচে রাখিয়া উহার মুখের উপর এক জার হাইড্রোজেন গ্যাস উপুড় করিয়া রাখিয়া দিয়া উহাদিগকে কোনরূপ আলোড়িত না করিলে, অনেকক্ষণ পর দুই গ্যাস মিশিয়া একটি সমসত্ব মিশ্রণ উৎপন্ন করে। অভিকর্ষের বিরুদ্ধে উহাদের মিশ্রণ প্রমাণ করে যে গ্যাসের অণুগুলি তীব্রবেগে ছোটাছুটি করে। এখানে দুই গ্যাসের মধ্যে ব্যাপন হইতেছে।

(ii) প্রায় আধ-বীকার জলের উপর খুব সতর্কতার সহিত আস্তে আস্তে অ্যালকোহল ঢালিয়া রাখিলে, অনেকক্ষণ পর উহারা সমসত্ব মিশ্রণে পরিণত হইবে। অভিকর্ষের বিরুদ্ধে দুই তরলের মিশ্রণকে উহাদের ব্যাপন বলে। তরলের অণুগুলির গতিবেগ থাকায় এইরূপ মিশ্রণ সম্ভব হইয়াছে।

(iii) দুই কঠিনের মধ্যেও ব্যাপন দেখা যায়। যেমন সোনার ভারী অণু, সীসার অপেক্ষাকৃত হাল্‌কা অণুর মধ্যেও ব্যাপন হয়। ইহা দ্বারাও পদার্থের অণুর গতির অস্তিত্ব প্রমাণিত হয়।

(*d*) **গ্যাসের সূত্র** : গ্যাসের অণুগুলি যে তীব্রবেগে ছোটাছুটি করে তাহা ধরিয়া লইয়া বয়েলের সূত্র, চার্লসের সূত্র, অ্যাভোগাড্রো প্রকল্প নির্ধারণ করিলে যে ফল পাওয়া যায় তাহা পরীক্ষালব্ধ ফলের সহিত মিলিয়া যায়। কাজেই ইহা দ্বারাও প্রমাণিত হয় যে গ্যাসের অণুগুলির গতি আছে।

(*e*) **ব্রাউনীয় গতি** (Brownian movement) :—ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণার ব্রাউনীয় গতির পর্যবেক্ষণ দ্বারাও জানা যায় যে পদার্থের অণুগুলির গতি আছে, তাহারা স্থির থাকে না। কলয়েড দ্রবণে যে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র কণা দ্রাবকের মধ্যে প্রলম্বিত অবস্থায় থাকে

তাহাদিগকে আলট্রা-মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখিলে দেখা যায় যে ঐ কণাগুলি ইতস্ততঃ বিশৃঙ্খলভাবে সঞ্চরণ করিতেছে। কণাগুলির এইরূপ বিশৃঙ্খল সঞ্চরণকে **ব্রাউনীয় গতি** বলে।

6-3. ব্রাউনীয় গতি (Brownian movement) : ইংরেজ উদ্ভিদ-বিজ্ঞানী (botanist) ব্রাউন দেখিলেন (1827 খ্রীস্টাব্দে) যে যখন কোন অদ্রাব্য পদার্থ ক্ষুদ্র কণার আকারে (যাহার ব্যাস 10^{-5} সে. মি. হইতে 10^{-7} সে. মিটারের মধ্যে) কোন দ্রাবকের সঙ্গে মিশ্রিত থাকে তখন ঐ অদ্রাব্য পদার্থের কণাগুলি দ্রাবকের মধ্যে প্রলম্বিত অবস্থায় (in suspension) থাকিয়া ইতস্ততঃ শৃঙ্খলাহীনভাবে ঘুরিয়া বেড়ায়। ক্ষুদ্র কণাগুলির এই সঞ্চরণ আলট্রা-মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখা যায়। কণাগুলির এইরূপ অনিয়মিত গতি ব্রাউন প্রথম নিরীক্ষণ করিয়াছিলেন বলিয়া এইরূপ গতিকে **ব্রাউনীয় গতি** বলে। পরীক্ষা দ্বারা ব্রাউনীয় গতি সম্বন্ধে যে সব তথ্য পাওয়া গিয়াছে তাহা নিম্নে দেওয়া হইল।

(i) প্রলম্বিত কণাগুলির গতি কোন নিয়ম-শৃঙ্খলা মানিয়া চলে না এবং এই গতি দ্রবণপাত্রের নাড়াচাড়ায় কিংবা কম্পনেও অপরিবর্তিত থাকে।

(ii) একই স্থানের দুইটি কণার গতি বিভিন্নপ্রকার হইতে পারে এবং এই গতি যে তরলের পরিচলন কিংবা আবর্তের জন্য হইয়া থাকে এরূপ কোন প্রমাণ পাওয়া যায় না। কিন্তু দুইটি কণার আকার একই প্রকার হইলে উহাদের সঞ্চরণও একই প্রকারের হইয়া থাকে।

(iii) কণাগুলির ব্যাস যত কম হইবে উহাদের বিশৃঙ্খল গতি তত বেশী হইবে এবং যে দ্রাবকের মধ্যে কণাগুলি প্রলম্বিত অবস্থায় আছে তাহার সান্দ্রতা (viscosity) যত কম হইবে কণার গতি তত বেশী হইবে।

(iv) কণাগুলির এই সঞ্চরণ অবিরাম হইতে থাকে এবং দ্রবণের উষ্ণতা স্থির থাকিলে উহাদের গতির কোন পরিবর্তন হয় না।

কণাগুলির গতির প্রকৃতি দেখিয়া এরূপ মনে হয় যে দ্রাবকের অণুগুলি ঐ কণাগুলির উপর বিভিন্ন দিকে যে বিভিন্ন পরিমাণের বল দ্বারা ধাক্কা দিতেছে তাহারা পরস্পর প্রশমিত হইতেছে না। ইহার ফলে কণাগুলির উপর যে লব্ধি বল থাকিয়া যায় তাহার জন্যই কণাগুলির ঐরূপ গতিপ্রকৃতি দেখা যায়।

আইনস্টাইন ব্রাউনীয় গতির যে ব্যাখ্যা দিয়াছিলেন তাহা পেরিণের পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে। আইনস্টাইন দ্বারা স্থিরীকৃত সূত্রের সাহায্যে পেরিণ যে অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা নির্ণয় করিয়াছিলেন তাহা অন্যভাবে নির্ণীত অ্যাভোগাড্রো সংখ্যার সঙ্গে মিলিয়া যায়। অতএব ব্রাউনীয় গতি হইতে, পদার্থের আণবিক গতির অস্তিত্বের প্রত্যক্ষ প্রমাণ পাওয়া যায়।

6-4. আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্ব, যে সব মৌলিক অনুমানের উপর প্রতিষ্ঠিত (Basic assumptions on which Kinetic theory of ideal gases is based) ঃ যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে গ্যাসের অণুগুলি তীব্রবেগে ইতস্ততঃ ছোটাছুটি করিতেছে তাহা হইলে কতকগুলি শর্তসাপেক্ষে ঐ গ্যাসের চাপের হিসাব করা সহজ হয়। এই শর্তগুলিকে গ্যাসের মৌলিক অনুমান বলিয়া ধরা হয়। যে গ্যাস এই মৌলিক অনুমানগুলির শর্ত সম্পূর্ণরূপে পালন করে তাহাকে **আদর্শ গ্যাস** (perfect gas) বলে। বাস্তবে, কোন প্রকৃত গ্যাসই তাহার সর্ব-অবস্থায় আদর্শ গ্যাসের শর্তগুলি পালন করে না। কিন্তু গ্যাসকে একটি বিশিষ্ট অবস্থার মধ্যে রাখিলে উহার ব্যবহার অনেকটা আদর্শ গ্যাসের মত হইয়া থাকে। যে সব অনুমানের উপর আদর্শ গ্যাস প্রতিষ্ঠিত তাহাদের বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

(i) গ্যাসের কোন অণু যখন উহার অন্য অণুর সহিত পরপর দুইবার ধাক্কা খায় তখন ঐ দুইবার ধাক্কা খাইবার মাঝের যে মুক্ত পথ (free path) থাকে তাহাকে সরল-রেখা ধরা হয় এবং ঐ মুক্তপথের মধ্যে অণুটি সমবেগে চলে।

(ii) যখন দুইটি অণু পরস্পরের সঙ্গে ধাক্কা খায় তখন যে সময়ের জন্য উহারা পরস্পর সংলগ্ন থাকে তাহা অণুর মুক্তপথ অতিক্রম করিবার সময় অপেক্ষা অনেক কম এবং নগণ্য ধরা হয়।

(iii) গ্যাসের অণুগুলিকে সম্পূর্ণ স্থিতিস্থাপক এবং উহাদের আকার বিন্দুবৎ কল্পনা করা হয়। অণুগুলিকে বিন্দুবৎ কল্পনা করার ফলে উহাদের ব্যাস মুক্তপথের দৈর্ঘ্যের তুলনায় নগণ্য হয় এবং পাত্রের মধ্যস্থ অণুগুলির মোট আয়তনও পাত্রের আয়তনের তুলনায় নগণ্য হয়।

(iv) দুইটি অণুর মধ্যে কোনরূপ আকর্ষণ কিংবা বিকর্ষণ নাই বলিয়া মনে করা হয়। আরও অনুমান করা হয় যে অণুগুলি যখন পাত্রের দেওয়ালের উপর ধাক্কা দেয় তখন দেওয়াল এবং অণুগুলির মধ্যে কোনরূপ আকর্ষণ-বিকর্ষণ হয় না।

(v) গ্যাসের অণুগুলি এক সেকেণ্ডে বহুসংখ্যকবার ধাক্কা খাওয়ায় উহাদের বেগের পরিমাণ এবং অভিমুখ অনবরত পরিবর্তিত হইতেছে কিন্তু ইহা সত্ত্বেও একক আয়তনের মধ্যে অণু এত বেশী সংখ্যায় থাকে যাহার জন্য উহার ঘনত্ব সবস্থানে একই থাকে।

উল্লিখিত অনুমানগুলিকে ভিত্তি করিয়া গ্যাসের চাপ নির্ণয় করিলে দেখা যায় যে ঐ

চাপ $= p = \frac{1}{3}\rho\overline{c^2}$ ... ... (6-4*a*)

এখানে ρ = গ্যাসের ঘনত্ব এবং $\overline{c^2}$ = অণুগুলির বেগের বর্গের গড় (mean of square-velocity)। অর্থাৎ পাত্রে যদি n-সংখ্যক অণু থাকে এবং তাহাদের বেগ যথাক্রমে $c_1, c_2, \cdots c_n$ প্রভৃতি হইলে, $\overline{c^2} = \dfrac{c_1{}^2 + c_2{}^2 + \cdots + c_n{}^2}{n}$ ... (6-4*b*)

কোন গ্যাস স্বাভাবিক চাপে (76 সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপকে স্বাভাবিক চাপ বলে) এবং 0°C উষ্ণতায় থাকিলে ঐ অবস্থায় উহার ঘনত্ব জানিয়া উহার অণুগুলির গড় বর্গ-বেগের বর্গমূল [root mean square velocity (R. M. S.)] (6-4a) সমীকরণের সাহায্যে নির্ণয় করা যাইতে পারে। যথা, স্বাভাবিক চাপে এবং 0°C উষ্ণতায় নাইট্রোজেন গ্যাসের ঘনত্ব = ·00125 গ্রাম/সি. সি.। অতএব উহার অণুগুলির গড় বর্গ-বেগের বর্গমূল (R. M. S. velocity) হইবে, $C=\sqrt{\overline{c^2}}=\sqrt{3p/\rho}$.

অথবা, $C=\left(\frac{3\times76\times13{\cdot}6\times981}{{\cdot}00125}\right)^{\frac{1}{2}}=4{\cdot}98\times10^4$ সে.মি./সেকেণ্ড।

6-5. গতিতত্ত্বের মূল তথ্য হইতে উষ্ণতার ব্যাখ্যা (Interpretation of temperature from Kinetic theory standpoint):

আদর্শ গ্যাসের গতিতত্ত্বে অনুমান করা হয় যে উহাদের অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ নাই; অর্থাৎ অণুগুলির স্থিতিশক্তি নাই। সুতরাং আদর্শ গ্যাসে তাপ প্রয়োগ করিলে ঐ তাপ অণুগুলির কেবলমাত্র গতিশক্তিই বৃদ্ধি করিবে। এই বর্ধিত গতিশক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হইয়া গ্যাসের উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে। অতএব আদর্শ গ্যাসের উষ্ণতা এবং উহার অণুগুলির গতিশক্তি সমানুপাতিক হইবে।

যদি এক গ্রাম-অণু (যাহার আণবিক ওজন M) আদর্শ গ্যাস লওয়া হয় তাহা হইলে উহার উষ্ণতা (T) উহার অণুগুলির গতিশক্তির সহিত সমানুপাতিক হইবে। আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির R. M. S. বেগ C হইলে, এক গ্রাম-অণু গ্যাসের গতিশক্তি হইবে $\frac{1}{2}MC^2$। অতএব গ্যাসের উষ্ণতা $T\propto\frac{1}{2}MC^2$; অথবা, $\frac{1}{2}MC^2=AT$। এখানে A একটি ধ্রুবক সংখ্যা। (4-6a) সমীকরণের সহিত গ্যাসের উষ্ণতার সম্বন্ধ প্রকাশ করিলে আমরা পাই, $p=\frac{1}{3}\rho\overline{c^2}=\frac{1}{3}\frac{M}{v}C^2$; অথবা, $pv=\frac{2}{3}\times\frac{1}{2}MC^2$; এখানে v = এক গ্রাম-অণু গ্যাসের আয়তন। অতএব, $pv=\frac{2}{3}AT=RT=\frac{1}{3}MC^2$ ··· (6-5a)

এখানে $R=\frac{2}{3}A$ = গ্যাস-ধ্রুবক যাহার মান এক গ্রাম-অণু সমস্ত গ্যাসের ক্ষেত্রে সমান, যখন গ্যাস স্বাভাবিক চাপে এবং উষ্ণতায় থাকে [2-26 পরিচ্ছেদের 'R-এর মান' দেখ]। (6-5a) সমীকরণ হইতে লেখা যায়,

$$pv=\tfrac{2}{3}\,(\text{গতিশক্তি});\quad \text{এবং}\ C=\sqrt{\frac{3pv}{M}}=\sqrt{\frac{3RT}{M}}\qquad\cdots\qquad(6\text{-}5b)$$

উষ্ণতার চরম শূন্য ও চরম স্কেল: সমীকরণ $\frac{1}{2}MC^2=AT$ হইতে বোঝা যায় যে আদর্শ গ্যাসের অণুগুলি যখন স্থির থাকিবে (অর্থাৎ $C=0$ হইবে) তখন উহার উষ্ণতাও (T) শূন্য হইবে। যে উষ্ণতায় অণুগুলির গতিশক্তি শূন্য হয় সেই উষ্ণতাকে **চরম শূন্য উষ্ণতা** (Absolute zero of temperature) বলে।

এই চরম শূন্য-উষ্ণতাকে শূন্য ধরিয়া যদি একটি উষ্ণতা-স্কেল গঠন করা হয় যাহার প্রত্যেক ডিগ্রীর সাইজের সহিত উষ্ণতার সেন্টিগ্রেড স্কেলের এক ডিগ্রীর সাইজ সমান হয় তাহা হইলে ঐ স্কেলকে উষ্ণতার **চরম স্কেল** (Absolute scale of temperature) কিংবা **গ্যাস স্কেল** (gas scale of temperature) বলে। সুতরাং সেন্টিগ্রেড স্কেলের 0° এবং t°-এর মান চরম স্কেলে যথাক্রমে 273° এবং $(273+t)^\circ$ হইবে।

$pv=RT$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যায় যে, (i) যখন উষ্ণতা (T) স্থির থাকে তখন $pv=$ ধ্রুবক (যাহা বয়েলের সূত্র)। (ii) আবার যখন চাপ (p) স্থির থাকে তখন $v\propto T$ (যাহা চার্লসের সূত্র)।

6-6. আদর্শ গ্যাসের সূত্রগুলির সত্যতা সীমাবদ্ধ (Limitations of ideal gas Laws) : বয়েলের এবং চার্লসের সূত্রের সমন্বয়ে যে $pv=RT$ সমীকরণ পাওয়া যায় যাহাকে আদর্শ গ্যাসের 'অবস্থা সমীকরণ' বলে। এই সমীকরণ হইতে দেখা যায় যে গ্যাসের চাপ (p), আয়তন (v) এবং উষ্ণতা (T) পরিবর্তনীয় রাশি। এই তিন রাশির একটি স্থির রাখিয়া অপর দুইটি রাশির যে-কোনটি পরিবর্তন করিলে অবশিষ্ট দ্বিতীয় রাশিটিরও পরিবর্তন হইবে। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে এই পরিবর্তন $pv=RT$ সমীকরণ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কিন্তু বাস্তব বা প্রকৃত গ্যাসের ক্ষেত্রে, উষ্ণতা স্থির রাখিয়া যদি গ্যাসের চাপ ও আয়তন পরিবর্তন করা যায় তাহা হইলে ঐ পরিবর্তন বয়েলের সূত্র অনুযায়ী হয় না।

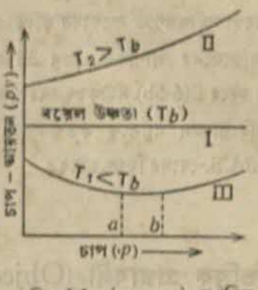
রেণো, অ্যামাগাট, প্রভৃতি পরীক্ষা দ্বারা দেখাইয়াছেন যে কার্বন ডাই-অক্সাইড, সালফার ডাই-অক্সাইড, অ্যামোনিয়া প্রভৃতি গ্যাস, স্থির উষ্ণতায় যে চাপ-আয়তনের পরিবর্তন দেখায় তাহা বয়েলের সূত্র হইতে অনেক বেশী বিচ্যুত। কিন্তু হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন প্রভৃতি তথাকথিত স্থায়ী গ্যাস যে চাপ-আয়তনের (স্থির উষ্ণতায়) পরিবর্তন দেখায় তাহা মোটামুটি বয়েলের সূত্র অনুযায়ী হইয়া থাকে।

নির্দিষ্ট পরিমাণ বাস্তব গ্যাসকে স্থির উষ্ণতায় রাখিয়া, একটি ছক কাগজের x-অক্ষের দিকে উহার বিভিন্ন চাপ (p) প্রকাশ করিয়া এবং ঐ চাপের জন্য গ্যাসের pv-এর যে মান হইবে তাহাকে y-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিয়া যদি একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তাহা হইলে ঐ লেখচিত্রের প্রকৃতি 6.1 নং চিত্রের ন্যায় হইবে। যখন গ্যাসকে একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় (T_b) রাখা হয় (যাহাকে **বয়েল উষ্ণতা** বলে) তাহা হইলে গ্যাসের চাপ পরিবর্তন সত্ত্বেও উহার pv-এর মান স্থির থাকে। অর্থাৎ এই উষ্ণতায় গ্যাসের ব্যবহার আদর্শ গ্যাসের মত হয় [6.1নং চিত্রের Iনং রেখা]।

যখন গ্যাসের উষ্ণতা (T_2) বয়েল উষ্ণতার (T_b) উপরে থাকে তখন গ্যাসের চাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে উহার pv-এর মানও বাড়িতে থাকে [6.1নং চিত্রের IIনং রেখা]।

হিলিয়াম, হাইড্রোজেন প্রভৃতি গ্যাস এইরূপ দেখাইয়া থাকে [ইহাদের বয়েল উষ্ণতা যথাক্রমে 20°A এবং 100°A-এর নীচে]।

আবার যখন গ্যাসের উষ্ণতা (T_1) বয়েল উষ্ণতার (T_b) নীচে থাকে তখন প্রথমে গ্যাসের চাপ-বৃদ্ধির সঙ্গে উহার pv-এর মান কমিতে থাকে এবং পরে চাপের একটি নির্দিষ্ট পরিসরের (ab) মধ্যে pv-এর মান স্থির থাকে এবং আরও চাপ-বৃদ্ধি করিলে গ্যাসের pv-এর মান বাড়িতে থাকে [6.1নং চিত্রের IIIনং রেখা]। তাহা হইলে দেখা যাইতেছে যে, গ্যাস T_1 ($T_1 < T_b$) উষ্ণতায় থাকিলে উহা চাপের একটি নির্দিষ্ট পরিসরের (ab) মধ্যে বয়েলের সূত্র মানিয়া চলে। এইরূপ প্রকৃতি নাইট্রোজেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড প্রভৃতি গ্যাস দেখাইয়া থাকে।



চিত্র 6.1 : ($p - p.v$) লেখচিত্র

গতিতত্ত্ব হইতে আদর্শ গ্যাসের অবস্থা সমীকরণ স্থির করিবার সময় ধরা হইয়াছিল যে উহার অণুগুলি বিন্দুবৎ এবং ঐ অণুগুলির মধ্যে কোনরূপ আকর্ষণ-বিকর্ষণ নাই। কিন্তু বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রে ঐ দুই অনুমানের একটিও সত্য নয়। ভ্যানডার ওয়াল গ্যাসের অণুগুলির একটি নির্দিষ্ট ব্যাস ধরিয়া লইয়া উহার আয়তনের (v) সংশোধন করিয়া v স্থানে $(v-b)$ পাইলেন এবং গ্যাসের অণুগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ বলের অস্তিত্ব ধরিয়া লইয়া চাপের সংশোধিত মান $(p+a/v^2)$ পাইলেন। কাজেই প্রকৃত গ্যাসের 'অবস্থা সমীকরণ' মোটামুটিভাবে $\left(p+\frac{a}{v^2}\right)(v-b)=RT$ সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই সমীকরণকে **ভ্যানডার ওয়াল সমীকরণ** বলে।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 6]

1. পদার্থ যে কতকগুলি অণুর সমষ্টি এবং ঐ অণুগুলি যে সর্বদাই গতিশীল তাহা যে সব তথ্যের উপর প্রতিষ্ঠিত তাহাদের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দাও। [Arts. 6-1 ও 6-2]

2. ব্রাউনীয় গতি বলিতে কি বুঝ? এই গতি কিরূপ পদার্থের ক্ষেত্রে দেখা যায় এবং কি যন্ত্র দ্বারা দেখা যায়? এই গতির প্রকৃতি সম্বন্ধে যে সব তথ্য পাওয়া গিয়াছে তাহাদের বিবরণ দাও। [Art. 6-3]

3. আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণ স্থির করিতে উহাদের অণুগুলি সম্বন্ধে যে সব অনুমান করা হইয়া থাকে তাহাদের উল্লেখ কর। ঐ সব অনুমানকে ভিত্তি করিয়া আদর্শ গ্যাসের যে চাপ নির্ণিত হইয়াছে তাহার পরিমাণের উল্লেখ কর। অণুগুলির গড় বর্গ-বেগের বর্গমূল বলিতে কি বুঝ? [Art. 6-4]

4. গতিতত্ত্বের মূল তথ্য হইতে পদার্থের উষ্ণতার কিরূপ ব্যাখ্যা দেওয়া যায়? আদর্শ গ্যাসের অবস্থা সমীকরণ গতিতত্ত্ব হইতে কিভাবে পাওয়া যায়?

5. পদার্থের গতিতত্ত্ব হইতে চরম শূন্য উষ্ণতার কি ব্যাখ্যা দেওয়া যায়? উষ্ণতার চরম স্কেল বলিতে কি বুঝ? উষ্ণতার চরম স্কেলের সহিত সেন্টিগ্রেড স্কেলের কি সম্বন্ধ? [Art. 6-5]

6. আদর্শ গ্যাসের] সূত্রগুলি কি প্রকৃত বা বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য? কি কি অবস্থায় আদর্শ গ্যাসের সূত্রগুলি বাস্তব গ্যাসের ক্ষেত্রেও প্রযোজ্য হইতে পারে? কিসের উপর ভিত্তি করিয়া আদর্শ গ্যাসের অবস্থা সমীকরণকে সংশোধন করিয়া ভ্যান-ডার-ওয়াল সমীকরণ পাওয়া যায়? [Art. 6-6]

7. অক্সিজেনের আণবিক ওজন 32 হইলে 15°C উষ্ণতায় উহার গড় বর্গ-বেগের বর্গমূল (R.M.S. বেগ) কত হইবে [(6-5b) সমীকরণ প্রয়োগ কর]। [*Ans.* $4{\cdot}73\times10^4$ সে.মি./সেকেণ্ড]

8. নাইট্রোজেন গ্যাসকে কত উষ্ণতায় লইয়া গেলে উহার R.M.S.-বেগ উহার স্বাভাবিক চাপে এবং উষ্ণতায় R.M.S.-বেগের দ্বিগুণ হইবে? [*Ans.* 819°C]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 6]

A. Multiple choice type : (1) আণবিক গতি এবং ব্রাউনীয় গতি কি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দ্বারা দেখা যায়? —উভয় প্রকার গতিই অণুবীক্ষণ যন্ত্রের দ্বারা দেখা যায়; ব্রাউনীয় গতি অণুবীক্ষণ দ্বারা দেখা যায় কিন্তু আণবিক গতি দেখা যায় না; কোন প্রকার গতিই অণুবীক্ষণ দ্বারা দেখা যায় না; (2) পদার্থের অণুগুলির গতির সহিত উহার উষ্ণতার কোন সম্বন্ধ আছে কি? —পদার্থের উষ্ণতা বাড়াইলে কিংবা কমাইলে উহার অণুগুলির গতি যথাক্রমে বাড়ে কিংবা কমে; পদার্থের অণুগুলির গতি সব উষ্ণতায় একই থাকে; সব উষ্ণতায় পদার্থের অণুগুলি গতিশূন্য থাকে। (3) কোন্ উষ্ণতাকে চরম শূন্য উষ্ণতা বলা হয়? —বরফের উষ্ণতাকে: তরল বায়ুর স্ফুটনাঙ্ককে ;—273°C উষ্ণতাকে।

B. Completion type : (1) বাস্তব গ্যাসের উষ্ণতা যখন—উষ্ণতায় থাকে তখন ঐ গ্যাস আদর্শ গ্যাসের সূত্রগুলি মানিয়া চলে। (2) আদর্শ গ্যাসের সমীকরণ পাইতে গ্যাসের অণুগুলিকে—ধরা হইয়াছিল এবং উহাদের মধ্যের—শূন্য ধরা হইয়াছিল কিন্তু ভ্যান-ডার-ওয়াল সমীকরণে গ্যাসের অণুগুলির—এবং উহাদের মধ্যের—পরিমাণ নির্দিষ্ট মানের ধরা হয়।

C. True or False type : (1) উষ্ণতার চরম স্কেল, সেন্টিগ্রেড স্কেল এবং ফারেনহাইট স্কেল প্রত্যেকটি স্বতন্ত্র স্কেল, উহাদের পরস্পরের মধ্যে কোন সম্বন্ধ নাই। (2) প্রত্যেকটি গ্যাস একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় আদর্শ গ্যাসের সূত্রগুলি মানিয়া চলে এবং এই উষ্ণতাকে বয়েল উষ্ণতা বলে। (3) বরফের উষ্ণতায় গ্যাসের অণুগুলির কোনরূপ গতি থাকে না বলিয়া ঐ উষ্ণতাকে চরম শূন্য উষ্ণতা বলে।

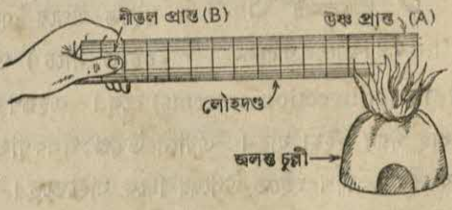
অধ্যায় 7

তাপ-সঞ্চালন
(Transmission of Heat)

7-1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি (Different ways of transmission of heat) : উষ্ণস্থান হইতে শীতল স্থানে, তাপ তিনটি বিভিন্ন উপায়ে সঞ্চালিত হইতে পারে। যথা—(a) পরিবহণ (Conduction), (b) পরিচলন (Convection) ও (c) বিকিরণ (Radiation)।

(a) **পরিবহণ :** যে পদ্ধতিতে একই পদার্থের উষ্ণতর অংশ হইতে শীতলতর অংশে কিংবা কোন উষ্ণ পদার্থ হইতে তাহার সংলগ্ন কোন শীতল পদার্থে তাপ সঞ্চালিত হয়, অথচ পদার্থের কণাগুলির কোনরূপ স্থানান্তর হয় না তাহাকে **পরিবহণ** বলে।

উদাহরণ : একটি লৌহদণ্ডের এক প্রান্ত (A) আগুনের মধ্যে রাখিলে ঐ প্রান্তের উষ্ণতা বৃদ্ধি হইবে এবং কিছুক্ষণের মধ্যেই উহার অপর-প্রান্ত (B) এত গরম হইবে যে উহাকে হাতে ধরা যাইবে না। এখানে আগুনের মধ্যের লৌহ-দণ্ডের প্রান্ত যে তাপ পাইল তাহা উহার বাহিরের প্রান্তে সঞ্চালিত হইল কিন্তু দণ্ডের কণাগুলির কোনরূপ স্থানান্তর হইল না। এইরূপ তাপ সঞ্চালনকে পরিবহণ বলে [7.1নং চিত্র]।

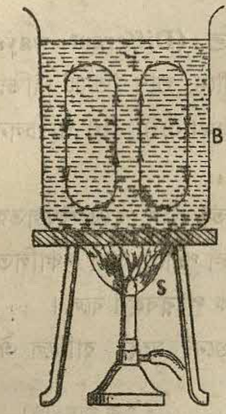


চিত্র 7.1 : তাপের পরিবহণ

লৌহদণ্ডের যে প্রান্ত আগুনের মধ্যে ছিল তাহা যে তাপ পাইল তাহা প্রথম অবস্থায় তিনভাগে ব্যয় হয়। প্রাপ্ত তাপের এক অংশ স্তরে থাকিয়া উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করে, অপর অংশ বিকীর্ণ হয় এবং অবশিষ্ট অংশ পরবর্তী স্তরে সঞ্চালিত হয়। তাপ-সঞ্চালনের এই প্রাথমিক অবস্থাকে উষ্ণতার **পরিবর্তনশীল অবস্থা** (variable state of temperature) বলে। এইভাবে তাপ এক স্তর হইতে অন্য পরবর্তী স্তরে সঞ্চালিত হইতে থাকে। কিছুক্ষণ পর যখন প্রত্যেক স্তরের উষ্ণতা স্থির হইয়া যায় তখন কোন স্তরের প্রাপ্ত তাপের কিছু অংশ বিকীর্ণ হয় এবং অবশিষ্ট অংশ পরবর্তী স্তরে সঞ্চালিত হয়। তাপ সঞ্চালনের এই অবস্থাকে উষ্ণতার **স্থির অবস্থা** (steady state of temperature) বলে।

(b) **পরিচলন :** যে পদ্ধতিতে পদার্থের উত্তপ্ত কণাগুলি উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে তাপ সঙ্গে লইয়া চলিয়া যায় তাহাকে **পরিচলন** বলে। তরল ও গ্যাস সাধারণতঃ এই পদ্ধতিতে উত্তপ্ত হয়।

উদাহরণ : (*i*) **তরলে তাপের পরিচলন :** এক বীকার (*B*) জলের মধ্যে পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেটের কয়েকটি দানা ছাড়িয়া দিয়া, বীকারের তলার মধ্যস্থল বুনসেন বার্ণার (*S*) দ্বারা গরম করিলে দেখা যাইবে যে বীকারের জলের মধ্যে দুইটি স্রোতের সৃষ্টি হইয়াছে। একটি স্রোতে নীচের রঙিন জল গরম ও হাল্কা হইয়া জলের মধ্যভাগ দিয়া উপরে উঠিতেছে এবং অপর স্রোতে উপরের বর্ণহীন শীতল ভারী জল বীকারের গা বহিয়া নীচে নামিতেছে [7·2নং চিত্র]। এই দুই স্রোতের গতিপথ 7.2নং চিত্রে তীরচিহ্ন দ্বারা দেখান হইয়াছে। বীকারের জলের মধ্যে যে দুইটি স্রোতের সৃষ্টি হইল (একটি গরম জলের নীচ হইতে উপরে এবং অপরটি ঠাণ্ডা জলের উপর হইতে নীচে) তাহাকে **পরিচলন স্রোত** বা **প্রবাহ** (convection currents) বলে। এইরূপ প্রবাহ দ্বারা সমস্ত জল কিছুক্ষণের মধ্যেই গরম হইয়া যায়। এখানে উত্তপ্ত জলকণাগুলি নিজেরাই তাপ বহন করিয়া বীকারের তলদেশ হইতে উপরের দিকে যাইতেছে। কাজেই তাপ সঞ্চালনের এইরূপ পদ্ধতিকে পরিচলন বলে।



চিত্র 7.2 : তাপের পরিচলন

(ii) **গ্যাসে তাপের পরিচলন :** বায়ুপ্রবাহ, জলবায়ু, স্থলবায়ু প্রভৃতি প্রাকৃতিক ঘটনা গ্যাসীয় পদার্থে তাপ পরিচলনের প্রকৃষ্ট উদাহরণ। কোনস্থানের বাতাস গরম হইলে উহা হাল্কা হইয়া উপরে উঠিয়া যায় এবং সেইস্থান পূরণ করিবার জন্য পার্শ্ববর্তী স্থানের শীতল বাতাস ছুটিয়া আসিয়া বায়ুপ্রবাহের সৃষ্টি করে।

(c) **বিকিরণ :** (i) যে পদ্ধতিতে তাপ কোন জড় মাধ্যমের সাহায্য না লইয়া কিংবা কোন জড় মাধ্যম থাকিলেও তাহাকে উত্তপ্ত না করিয়া, উষ্ণতর স্থান হইতে শীতলতর স্থানে সঞ্চালিত হয় তাহাকে **বিকিরণ** বলে। এই পদ্ধতিতে তাপ তাহার উৎস হইতে অন্যস্থানে তরঙ্গাকারে যায়।

উদাহরণ : (i) সূর্য এবং পৃথিবীর মধ্যের অধিকাংশ স্থানেই কোন জড়পদার্থ নাই, কিন্তু তাহা সত্ত্বেও সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ আসে। এই তাপ বায়ুমণ্ডল অতিক্রম করিয়া আসিলেও বায়ুমণ্ডল উষ্ণ হয় না (যদি বায়ুমণ্ডল শুষ্ক থাকে)। কাজেই সূর্য হইতে পৃথিবীতে তাপ সঞ্চালনের পদ্ধতিকে বিকিরণ বলে।

(ii) আমরা যখন কোন অগ্নিকুণ্ডের পাশে দাঁড়াই তখন যে গরম অনুভব করিয়া থাকি তাহা বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালনেরই ফল। কারণ উত্তপ্ত বায়ুকণাগুলি পরিচলন দ্বারা অগ্নিকুণ্ডের তাপ উপরের দিকে লইয়া যাইবে, পাশে আসিবে না। বায়ু তাপের কুপরিবাহী হওয়ায় অগ্নিকুণ্ডের তাপ আমাদের কাছে পরিবহণ পদ্ধতিতে আসে না। কাজেই একমাত্র বিকিরণ পদ্ধতিতেই অগ্নিকুণ্ডের তাপ আমাদের কাছে আসে।

(d) **তাপ সঞ্চালনের তিন পদ্ধতির পার্থক্য :** (i) পরিবহণে বস্তুর উষ্ণ কণাগুলি স্থানান্তরিত হয় না। পরিচলনে বস্তুর উষ্ণ কণাগুলি স্থানান্তরিত হইয়া উষ্ণ স্থানের তাপ শীতলস্থানে লইয়া যায়। বিকিরণে তাপ তরঙ্গাকারে উষ্ণ স্থান হইতে শীতল স্থানে সঞ্চালিত হয় যাহাতে কোন বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না। পরিবহণে এবং পরিচলনে কিন্তু তাপ সঞ্চালনের জন্য বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন হয়।

(ii) পরিবহণে এবং পরিচলনে তাপ সঞ্চালনের জন্য যে বাস্তব মাধ্যম প্রয়োজন হয় তাহার উষ্ণতার পরিবর্তন হয় কিন্তু বিকিরণে তাপ সঞ্চালনের সময় মাধ্যম থাকিলেও উহার উষ্ণতার বিশেষ পরিবর্তন হয় না।

(iii) পরিবহণ ও পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালন খুব মন্থরগতিতে হয় কিন্তু বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ খুব দ্রুতগতিতে (যাহা আলোর গতির সমান) সঞ্চালিত হয়।

(iv) পরিবহণ এবং পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ সরল কিংবা বক্রপথে যাইতে পারে কিন্তু বিকিরণে তাপ প্রায় সরল পথেই যায়।

7-2. তাপ-পরিবাহিতা ও তাপ পরিবাহিতাঙ্ক (Thermal conductivity and coefficient of thermal conductivity) :

(i) **তাপ পরিবাহিতা** :—পদার্থের যে বিশেষ ধর্মের প্রভাবে তাপ, পদার্থের উষ্ণস্থান হইতে শীতল স্থানে পরিবাহিত হয় তাহাকে **তাপ-পরিবাহিতা** বলে।

(ii) **তাপ পরিবাহিতাঙ্ক** (Coefficient of thermal conductivity) **:** একক প্রস্থচ্ছেদযুক্ত এবং একক দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন পদার্থের দুই প্রান্তের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য 1°C রাখিলে, পদার্থের উষ্ণতল হইতে শীতল তলের অভিলম্বের দিকে এক সেকেণ্ডে যে পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইবে তাহাকে ঐ পদার্থের **তাপ পরিবাহিতাঙ্ক** বলে।

যদি A প্রস্থচ্ছেদযুক্ত ও d দৈর্ঘ্যবিশিষ্ট কোন পদার্থের দুইপ্রান্তের উষ্ণতা θ_1°C এবং θ_2°C $(\theta_1 > \theta_2)$ রাখা হয় তাহা হইলে ঐ পদার্থের উষ্ণতল হইতে (যাহার উষ্ণতা θ_1°C) শীতলতলের (যাহার উষ্ণতা θ_2°C) অভিলম্বের দিকে t সেকেণ্ডে যে তাপ পরিবাহিত হইবে তাহার পরিমাণ Q হইবে,

$$Q \propto \frac{A(\theta_1 - \theta_2)t}{d}\ ; \text{ অথবা, } \quad Q = \frac{KA(\theta_1 - \theta_2)t}{d} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7\text{-}2a)$$

$$\text{অতএব, } \quad K = \frac{Qd}{A(\theta_1 - \theta_2)t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7\text{-}2a')$$

এখানে K-কে পদার্থের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক বলে। যখন $A=1$ বর্গ সে.মি., $d=1$ সে.মি., $(\theta_1-\theta_2)=1^\circ C$ এবং $t=1$ সেকেণ্ড তখন $Q=K$। কাজেই সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তাপ পরিবাহিতাঙ্কের একক হইবে 'ক্যালরি প্রতি সে. মি.-এ, প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে'।

'কাচের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক ·0025' বলিতে আমরা বুঝি যে এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদযুক্ত ও এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যযুক্ত কোনও কাচের দুই প্রান্তের উষ্ণতার পার্থক্য $1^\circ C$ রাখিলে উহার উষ্ণতল হইতে শীতল তলের অভিলম্বের দিকে এক সেকেণ্ডে যে তাপ পরিবাহিত হইবে তাহার পরিমাণ হইবে ·0025 ক্যালরি।

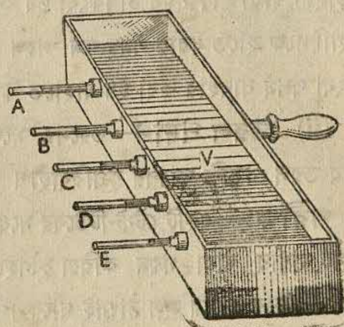
(iii) **উষ্ণতা-পরিবাহিতা কিংবা তাপ-ব্যাপনতা** (Thermometric conductivity or diffusivity) :—দুইটি অভিন্ন আকারের কিন্তু বিভিন্ন পদার্থের দণ্ড লইয়া উহাদের এক প্রান্তের উষ্ণতা সমান রাখিলে দেখা যায় যে উহাদের **উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায়,** ঐ দুই দণ্ডের দুইটি স্তর উষ্ণপ্রান্ত হইতে সমান দূরে থাকিলেও উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি কিন্তু সমান হারে হয় না। এই উষ্ণতা বৃদ্ধির হার পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক (K) ছাড়াও উহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতার (ρs) উপর নির্ভর করে [পদার্থের ঘনত্ব ও আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে ρ ও s হইলে উহার একক আয়তনের তাপ-গ্রাহীতা হইবে ρs]। কাজেই কোন দণ্ডের কোন স্তরের উষ্ণতা যে হারে বৃদ্ধি পায় তাহা $K/\rho s$ অনুপাত দ্বারা মাপা হয়। এই অনুপাতকে ম্যাক্সওয়েল **উষ্ণতা-পরিবাহিতা** এবং লর্ড কেলভিন **তাপ-ব্যাপনতা** নাম দিয়াছিলেন। অতএব পদার্থের **উষ্ণতা-পরিবাহিতা** কিংবা **তাপ-ব্যাপনতা** $=K/\rho s$ ··· (7-2b)

সংজ্ঞা : কোন পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায়, উহার কোন স্তরের উষ্ণতা যে হারে পরিবর্তিত হয় তাহাই ঐ পদার্থের **উষ্ণতা পরিবাহিতা** কিংবা **তাপ-ব্যাপনতা** হইবে।

উদাহরণ : লোহার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক $=\cdot16$ এবং উহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতা $=\rho s=7\cdot8\times\cdot11=\cdot858$ ক্যালরি। অতএব উহার তাপ-ব্যাপনতা $=\cdot16/\cdot858=\cdot1865$। আবার বিস্‌মাথের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক $=\cdot02$ এবং ইহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতা $=\rho s=9\cdot8\times\cdot03=\cdot294$। কাজেই বিস্‌মাথের তাপ-ব্যাপনতা $=\cdot02/\cdot294=\cdot06803$, যাহা লোহার তাপ-ব্যাপনতা অপেক্ষা অনেক কম।

$\dfrac{\text{লোহার তাপ-ব্যাপনতা}}{\text{বিস্‌মাথের তাপ-ব্যাপনতা}}=\dfrac{\cdot1865}{\cdot06803}=2\cdot74$। ইহা দ্বারা দেখা যাইতেছে যে, লোহার তাপ পরিবহণ ক্ষমতা বিস্‌মাথ অপেক্ষা 8 গুণ বেশী হইলেও উহা উহার উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থা হইতে স্থির অবস্থায় আসিতে বিস্‌মাথ অপেক্ষা মাত্র 2·74 গুণ দ্রুততর হইবে।

7-3. বিভিন্ন কঠিন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা—ইন্‌জেন্‌হজের পরীক্ষা **(Ingen Hausz's experiment)** ঃ এই পরীক্ষায় একটি ধাতব বাক্সের (*V*) সামনের উল্লম্ব তলের মধ্যস্থলের একটি অনুভূমিক রেখার উপর কয়েকটি সমদূরবর্তী গর্ত (সাধারণতঃ পাঁচটি) করা থাকে। এই গর্তের মধ্যে সম-ব্যাসের, সমদৈর্ঘ্যের এবং সমভাবে মোম দ্বারা আবৃত কয়েকটি বিভিন্ন পদার্থের দণ্ডকে (A, B, C, D, E প্রভৃতি) [সাধারণতঃ তামা, পিতল, লোহা, কাঠ ও কাচ] আঁট করিয়া (কর্ক ছাড়াই) ঢুকানো থাকে। দণ্ডগুলির সমান দৈর্ঘ্য বাক্সের মধ্যে থাকে [7.3নং চিত্র দেখ]।



চিত্র 7.3 : ইন্‌জেন্‌হজের পরীক্ষা

বাক্সের মধ্যে জল লইয়া ঐ জলকে ফুটাইতে থাকিলে প্রত্যেক দণ্ডের একপ্রান্ত (যাহা বাক্সের মধ্যে আছে) ফুটন্ত জলের উষ্ণতা পাইবে। তাপ প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণ প্রান্ত হইতে শীতল প্রান্তের দিকে পরিবাহিত হইবে এবং যে স্তরের উষ্ণতা মোমের গলনাঙ্কের উপরে উঠিবে সেই স্তরের মোম গলিয়া যাইবে। দণ্ডগুলির উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায় মোম-গলনের হার উহাদের তাপ-ব্যাপনতা অনুযায়ী বিভিন্ন হইবে। যখন দণ্ডগুলির উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসে তখন বিভিন্ন দণ্ডের মোম বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের দ্বারা গলিবে। যে দণ্ডের মোম বেশী দূর গলিবে তাহার তাপ পরিবাহিতাঙ্ক বেশী হইবে। যদি দণ্ডগুলির পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক K_1, K_2, K_3, প্রভৃতি হয় এবং উহাদের মোম-গলনের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2, l_3 প্রভৃতি হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে,

$$\frac{K_1}{l_1^2}=\frac{K_2}{l_2^2}=\frac{K_3}{l_3^2}=\cdots \text{ইত্যাদি} \qquad \ldots \qquad \ldots \qquad (7\text{-}3a)$$

7-4. তাপের সুপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থ (Good and bad conductors of heat) ঃ পদার্থের তাপ পরিবহনের ক্ষমতা অনুযায়ী উহাদিগকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়, যথা—(i) সুপরিবাহী এবং (ii) কুপরিবাহী।

সংজ্ঞা ঃ যে সমস্ত পদার্থ খুব সহজেই তাপ পরিবহণ করিতে সক্ষম তাহাদিগকে তাপের **সুপরিবাহী** পদার্থ বলে এবং যে সমস্ত পদার্থ সহজে তাপ পরিবহণ করিতে অক্ষম তাহাদিগকে **কুপরিবাহী** পদার্থ বলে।

দৃষ্টান্ত :—(i) **কঠিন পদার্থ**.—প্রায় সব ধাতুই তাপের কম বেশী সুপরিবাহী। ধাতুগুলির মধ্যে রূপা সর্বোত্তম সুপরিবাহী, তাহার পর তামা, অ্যালুমিনিয়াম, প্রভৃতি।

এখানে K-কে পদার্থের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক বলে। যখন $A=1$ বর্গ সে.মি., $d=1$ সে.মি., $(\theta_1-\theta_2)=1^\circ C$ এবং $t=1$ সেকেণ্ড তখন $Q=K$। কাজেই সি. জি. এস্. পদ্ধতিতে তাপ পরিবাহিতাঙ্কের একক হইবে 'ক্যালরি প্রতি সে. মি.-এ, প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে'।

'কাচের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক '0025' বলিতে আমরা বুঝি যে এক বর্গ সেন্টিমিটার প্রস্থচ্ছেদযুক্ত ও এক সেন্টিমিটার দৈর্ঘ্যযুক্ত কোনও কাচের দুই প্রান্তের উষ্ণতার পার্থক্য $1^\circ C$ রাখিলে উহার উষ্ণতল হইতে শীতল তলের অভিলম্বের দিকে এক সেকেণ্ডে যে তাপ পরিবাহিত হইবে তাহার পরিমাণ হইবে '0025 ক্যালরি।

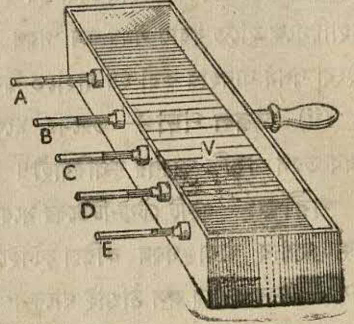
(iii) **উষ্ণতা-পরিবাহিতা কিংবা তাপ-ব্যাপনতা** (Thermometric conductivity or diffusivity) :—দুইটি অভিন্ন আকারের কিন্তু বিভিন্ন পদার্থের দণ্ড লইয়া উহাদের এক প্রান্তের উষ্ণতা সমান রাখিলে দেখা যায় যে উহাদের **উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায়,** ঐ দুই দণ্ডের দুইটি স্তর উষ্ণপ্রান্ত হইতে সমান দূরে থাকিলেও উহাদের উষ্ণতা-বৃদ্ধি কিন্তু সমান হারে হয় না। এই উষ্ণতা বৃদ্ধির হার পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক (K) ছাড়াও উহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতার (ρs) উপর নির্ভর করে [পদার্থের ঘনত্ব ও আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে ρ ও s হইলে উহার একক আয়তনের তাপ-গ্রাহীতা হইবে ρs]। কাজেই কোন দণ্ডের কোন স্তরের উষ্ণতা যে হারে বৃদ্ধি পায় তাহা $K/\rho s$ অনুপাত দ্বারা মাপা হয়। এই অনুপাতকে ম্যাক্সওয়েল **উষ্ণতা-পরিবাহিতা** এবং লর্ড কেলভিন **তাপ-ব্যাপনতা** নাম দিয়াছিলেন। অতএব পদার্থের **উষ্ণতা-পরিবাহিতা** কিংবা **তাপ-ব্যাপনতা** $=K/\rho s$ ··· (7-2b)

সংজ্ঞা : কোন পদার্থের উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায়, উহার কোন স্তরের উষ্ণতা যে হারে পরিবর্তিত হয় তাহাই ঐ পদার্থের **উষ্ণতা পরিবাহিতা** কিংবা **তাপ-ব্যাপনতা** হইবে।

উদাহরণ : লোহার তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক $=\cdot16$ এবং উহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতা $=\rho s=7\cdot8\times\cdot11=\cdot858$ ক্যালরি। অতএব উহার তাপ-ব্যাপনতা $=\cdot16/\cdot858=\cdot1865$। আবার বিস্মাথের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক $=\cdot02$ এবং ইহার একক আয়তনের তাপগ্রাহীতা $=\rho s=9\cdot8\times\cdot03=\cdot294$। কাজেই বিস্মাথের তাপ-ব্যাপনতা $=\cdot02/\cdot294=\cdot06803$, যাহা লোহার তাপ-ব্যাপনতা অপেক্ষা অনেক কম।

$\dfrac{\text{লোহার তাপ-ব্যাপনতা}}{\text{বিস্মাথের তাপ-ব্যাপনতা}}=\dfrac{\cdot1865}{\cdot06803}=2\cdot74$। ইহা দ্বারা দেখা যাইতেছে যে, লোহার তাপ পরিবহণ ক্ষমতা বিস্মাথ অপেক্ষা 8 গুণ বেশী হইলেও উহা উহার উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থা হইতে স্থির অবস্থায় আসিতে বিস্মাথ অপেক্ষা মাত্র 2·74 গুণ দ্রুততর হইবে।

7-3. বিভিন্ন কঠিন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা—ইন্‌জেন্‌হজের পরীক্ষা **(Ingen Hausz's experiment)** ঃ এই পরীক্ষায় একটি ধাতব বাক্সের (V) সামনের উল্লম্ব তলের মধ্যস্থলের একটি অনুভূমিক রেখার উপর কয়েকটি সমদূরবর্তী গর্ত (সাধারণতঃ পাঁচটি) করা থাকে। এই গর্তের মধ্যে সম-ব্যাসের, সমদৈর্ঘ্যের এবং সমভাবে মোম দ্বারা আবৃত কয়েকটি বিভিন্ন পদার্থের দণ্ডকে (A, B, C, D, E প্রভৃতি) [সাধারণতঃ তামা, পিতল, লোহা, কাঠ ও কাচ] আঁট করিয়া (কর্ক ছাড়াই) ঢুকানো থাকে। দণ্ডগুলির সমান দৈর্ঘ্য বাক্সের মধ্যে থাকে [7.3নং চিত্র দেখ]।



চিত্র 7.3 : ইন্‌জেন্‌হজের পরীক্ষা

বাক্সের মধ্যে জল লইয়া ঐ জলকে ফুটাইতে থাকিলে প্রত্যেক দণ্ডের একপ্রান্ত (যাহা বাক্সের মধ্যে আছে) ফুটন্ত জলের উষ্ণতা পাইবে। তাপ প্রত্যেক দণ্ডের উষ্ণ প্রান্ত হইতে শীতল প্রান্তের দিকে পরিবাহিত হইবে এবং যে স্তরের উষ্ণতা মোমের গলনাঙ্কের উপরে উঠিবে সেই স্তরের মোম গলিয়া যাইবে। দণ্ডগুলির উষ্ণতার পরিবর্তনশীল অবস্থায় মোম-গলনের হার উহাদের তাপ-ব্যাপনতা অনুযায়ী বিভিন্ন হইবে। যখন দণ্ডগুলির উষ্ণতা স্থির অবস্থায় আসে তখন বিভিন্ন দণ্ডের মোম বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের দ্বারা গলিবে। যে দণ্ডের মোম বেশী দূর গলিবে তাহার তাপ পরিবাহিতাঙ্ক বেশী হইবে। যদি দণ্ডগুলির পদার্থের পরিবাহিতাঙ্ক K_1, K_2, K_3, প্রভৃতি হয় এবং উহাদের মোম-গলনের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে l_1, l_2, l_3 প্রভৃতি হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে,

$$\frac{K_1}{l_1^2}=\frac{K_2}{l_2^2}=\frac{K_3}{l_3^2}=\cdots \text{ইত্যাদি} \quad \ldots \quad \ldots \quad (7\text{-}3a)$$

7-4. তাপের সুপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থ (Good and bad conductors of heat) ঃ পদার্থের তাপ পরিবহনের ক্ষমতা অনুযায়ী উহাদিগকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা হয়, যথা—(i) সুপরিবাহী এবং (ii) কুপরিবাহী।

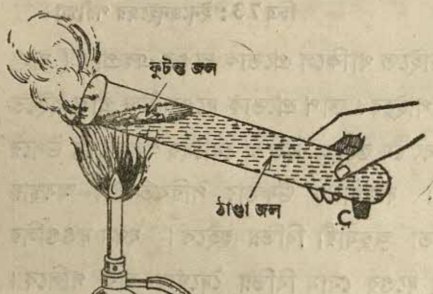
সংজ্ঞা ঃ যে সমস্ত পদার্থ খুব সহজেই তাপ পরিবহণ করিতে সক্ষম তাহাদিগকে তাপের **সুপরিবাহী** পদার্থ বলে এবং যে সমস্ত পদার্থ সহজে তাপ পরিবহণ করিতে অক্ষম তাহাদিগকে **কুপরিবাহী** পদার্থ বলে।

দৃষ্টান্ত :—(i) **কঠিন পদার্থ**.—প্রায় সব ধাতুই তাপের কম বেশী সুপরিবাহী। ধাতুগুলির মধ্যে রূপা সর্বোত্তম সুপরিবাহী, তাহার পর তামা, অ্যালুমিনিয়াম, প্রভৃতি।

আবার কাঠ, কাচ, এবোনাইট, অ্যাসবেস্টস্, বেত, তুলা, পশম, প্রভৃতি পদার্থের তাপ পরিবহণ ক্ষমতা খুব কম। এজন্য উহাদিগকে কুপরিবাহী পদার্থ বলা হয়। এজন্য স্টীম পাইপের উপর অ্যাসবেস্টসের আবরণ দেওয়া হয়, চায়ের কেট্‌লির হাতল বেত দ্বারা জড়াইয়া রাখা হয়, গরম চা কিংবা দুধ কাচ কিংবা পোর্সিলেনের পাত্রে লওয়া হয় যাহাতে উহাদিগকে হাতে ধরার সময় কম গরম লাগে। গরম পোশাক প্রস্তুত করিতে তুলা কিংবা পশম ব্যবহার করা হয় যাহাতে শীতকালে আমাদের শরীরের তাপ সুরক্ষিত হয়।

(ii) **তরল পদার্থ**—তরলের মধ্যে কেবল পারদই সুপরিবাহী। বিশুদ্ধ জল, জৈব তরল প্রভৃতি তাপের কুপরিবাহী।

পরীক্ষা—একটি টেস্ট-টিউবের মধ্যে খানিকটা জল লইয়া উহার উপরের জলকে একটি বার্ণার দ্বারা গরম করিয়া ফুটাইতে থাকিলে (যে জলের উষ্ণতা প্রায় 100°C) টেস্ট-টিউবের তলার জল ঠাণ্ডাই থাকে। ইহার ফলে টেস্ট-টিউবের তলায় মোম দিয়া আটকানো শোলার কর্ক (C) টেস্ট-টিউবের গায়ে লাগিয়াই থাকে (7.4 নং চিত্র)। ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে জল তাপের কুপরিবাহী। কিন্তু টেস্ট-টিউবের মধ্যে জলের বদলে পারদ লইয়া অনুরূপ পরীক্ষা করিলে দেখা যায় যে টেস্ট-টিউবের তলায় আটকানো কর্ক অল্প সময় পরেই পড়িয়া যায়। ইহার কারণ উপরের উষ্ণ পারদের তাপ খুব দ্রুত তলার পারদে পরিবাহিত হয় এবং যখন তলার পারদের উষ্ণতা মোমের গলনাঙ্কের উপরে যায় তখন মোম গলিয়া যায় এবং কর্ককে আর ধরিয়া রাখিতে পারে না।

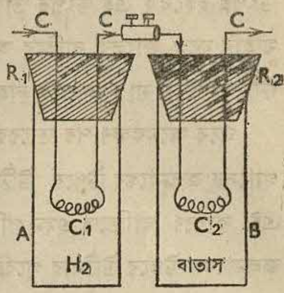


চিত্র 7.4 : জল তাপের কুপরিবাহী

(iii) **গ্যাসীয় পদার্থ**—প্রায় সব গ্যাসই তাপের কুপরিবাহী। এজন্য পশম, তুলা প্রভৃতির দ্বারা নির্মিত পোশাকের বুনানীর ফাঁকে ফাঁকে যে বাতাস থাকে তাহা তাপের কুপরিবাহী হওয়ায় তাহা আমাদের শরীর ও বাহিরের মধ্যে তাপ চলাচলে বাধা দেয়। এজন্য শীতকালে পশমের জামা পরিলে আমাদের শরীরের তাপ সুরক্ষিত হয়। আবার স্টীম-এঞ্জিনের চালকেরাও গরম পোশাক পরিয়া থাকে যাহাতে অগ্নিকুণ্ডের তাপ তাহাদের শরীরে প্রবেশ করিতে না পারে। বাতাস অপেক্ষা হাইড্রোজেন গ্যাসের তাপ পরিবহণ ক্ষমতা বেশী। যাহা নিম্নে বর্ণিত গ্রোভের পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে।

পরীক্ষা—দুইটি একই রোধের ও একই ব্যাসের সরু প্ল্যাটিনামের তার কুণ্ডলী (C_1 ও C_2), দুইটি একই আকারের ও আয়তনের চোঙের (A ও B) মুখের কর্কের

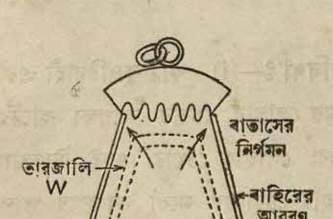
(R_1 ও R_2) মধ্য দিয়া ভিতরে প্রবেশ করাইয়া A চোঙের মধ্যে শুষ্ক হাইড্রোজেন গ্যাস (H_2) এবং B চোঙের মধ্যে শুষ্ক বাতাস রাখা হইল (7.5নং চিত্র)। তার কুণ্ডলী-দ্বয়কে শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করিয়া উহাদের মধ্যে একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহ (C অ্যামপীয়ার) কিছুক্ষণ চালনা করিলে দেখা যাইবে যে, (i) বাতাসের মধ্যস্থ কুণ্ডলী (C_2) লাল হইয়াছে এবং উহার চোঙ (B) সামান্য গরম হইয়াছে, (ii) হাইড্রোজেন গ্যাসের কুণ্ডলী (C_1) মোটেই লাল হয়নি কিন্তু উহার চোঙ (A) বিশেষ গরম হইয়াছে।



চিত্র 7.5 : হাইড্রোজেনের তাপ পরিবাহিতা

দুই কুণ্ডলীতেই (C_1 ও C_2) তাপের উৎপন্ন হার সমান। বাতাস তাপের কুপরিবাহী হওয়ায়, কুণ্ডলীর (C_2) খুব কম তাপ উহার চোঙে (B) পরিবাহিত হইতেছে এবং বেশী তাপ কুণ্ডলীতে থাকিয়া উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করিয়া উহাকে লাল করিতেছে। হাইড্রোজেন গ্যাস তাপের সুপরিবাহী হওয়ায় কুণ্ডলীর (C_1) বেশী তাপ চোঙে (A) পরিবাহিত হইয়া উহাকে গরম করিতেছে এবং খুব কম তাপ কুণ্ডলীতে (C_1) থাকিয়া উহার খুব কম উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতেছে যাহার জন্য উহা লাল হইতেছে না।

7-5. তাপ পরিবহনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ (Some practical applications of heat conduction) : (a) **ডেভির নিরাপত্তা বাতি** (Davy's safety lamp) :—তামার তারজালির সুপরিবাহিতা গুণের প্রয়োগ দ্বারা এই বাতি প্রস্তুত করা হয়। এই বাতি খনির ভিতর লইয়া গেলেও, ইহা খনির ভিতরের দাহ্য গ্যাসের উষ্ণতা উহার জ্বলনাঙ্কের (ignition temperature) উপরে উঠিতে দেয় না যাহার জন্য দাহ্য গ্যাস জ্বলিয়া খনি-দুর্ঘটনা সৃষ্টি করিতে পারে না।



চিত্র 7.6 : ডেভির নিরাপত্তা বাতি

ইহা একটি তৈলবাতি যাহার শিখাকে (L) একটি কাচের চোঙের (G) মধ্যে রাখিয়া এই চোঙের উপরে একটি ঠাসবুনানি তামার তারের জাল (W) দৃঢ়ভাবে আটকাইয়া রাখা হয়। এই জালের নীচের ফাঁক দিয়া বাতির ভিতরে বাতাস ঢোকে এবং জালের উপরের ফাঁক দিয়া বাতাস বাহিরে চলিয়া যায় যাহার ফলে বাতাসের অক্সিজেনের যোগান অব্যাহত থাকে এবং বাতি জ্বলিতে থাকে [7.6নং চিত্র]।

বাতাসের সঙ্গে যদি কোন দাহ্য গ্যাস (মার্স গ্যাস) মিশ্রিত থাকে তাহা হইলে ঐ গ্যাস-মিশ্রিত বাতাস শিখার সংস্পর্শে আসিলে ঐ দাহ্য গ্যাস জ্বলিয়া উঠিবে এবং ইহার জন্য তাপ উৎপন্ন হইবে। এই উৎপন্ন তাপ তামার তারজালির দ্বারা সঙ্গে সঙ্গে পরিবাহিত হইয়া যায় যাহার ফলে জালের বাহিরে অবস্থিত দাহ্য গ্যাসের উষ্ণতা উহার জ্বলনাঙ্কের উপরে উঠিতে পারে না। কাজেই দাহ্য গ্যাস জ্বলিতে না পারায় খনি দুর্ঘটনা এড়ান সম্ভব হয়।

তবে অনেকক্ষণ পর তারের জাল বেশী গরম হইয়া গেলে উহার উষ্ণতা বাহিরের দাহ্য গ্যাসের জ্বলনাঙ্কের উপরে উঠিয়া যাইতে পারে এবং সেই সময় দুর্ঘটনা হইতে পারে। এই কারণে বাতিতে এমন পরিমাণ তেল লওয়া হয়, যাহা বাহিরের গ্যাসের উষ্ণতা জ্বলনাঙ্কের উপরে উঠিবার পূর্বেই নিঃশেষ হইয়া যাইতে পারে।

(b) **কাগজের পাত্রে জলের স্ফুটন** :—কাগজ তাপের কুপরিবাহী কিন্তু পাতলা কাগজের মধ্য দিয়া তাপ যে হারে পরিবাহিত হয় মোটা কাগজের মধ্য দিয়া তাহা অপেক্ষা অনেক কম হারে পরিবাহিত হয়। এজন্য পাতলা কাগজের পাত্রে জল লইয়া ঐ পাত্রের তলায় তাপ প্রয়োগ করিলে বেশীর ভাগ প্রযুক্ত তাপ জলে পরিবাহিত হইয়া উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করিতে থাকিবে এবং অবশেষে জলকে স্ফুটনাঙ্কে আনিবে। কিন্তু কাগজের উষ্ণতা-বৃদ্ধি কম হওয়ায় উহা পুড়িয়া যায় না।

মোটা কাগজের পাত্রে জল লইয়া ঐ পাত্রের তলায় তাপ প্রয়োগ করিলে মোটা কাগজের মধ্য দিয়া খুব কম পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইয়া জলে আসে সেজন্য জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি খুব কম হয়। প্রযুক্ত তাপের বেশীর ভাগই কাগজ হইতে পরিবাহিত হইতে না পারায় উহার উষ্ণতা বৃদ্ধি করিবে এবং ঐ উষ্ণতা কাগজের জ্বলনাঙ্কের উপরে গেলেই কাগজ পুড়িয়া যাইবে।

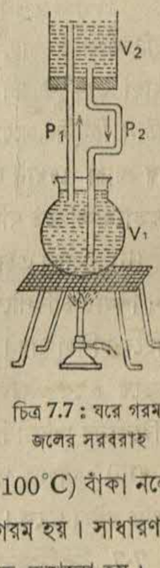
(c) **কুপরিবাহী পদার্থের ব্যবহারে সুবিধা** :—(i) কাঠ কুপরিবাহী এবং লোহা অনেক বেশী সুপরিবাহী। এজন্য বসিবার জন্য লোহার চেয়ার অপেক্ষা কাঠের চেয়ার অনেক আরামদায়ক। কাঠের চেয়ার এবং লোহার চেয়ার একই উষ্ণতায় থাকিলেও, উপবেশনের সময় শরীর এবং লোহার চেয়ারের মধ্যে যে হারে তাপ চলাচল হয় তাহা অপেক্ষা অনেক কম হারে শরীর এবং কাঠের চেয়ারের মধ্যে তাপ চলাচল হইয়া থাকে। এজন্য কাঠের চেয়ার অপেক্ষা লোহার চেয়ার শীতকালে বেশী ঠাণ্ডা এবং গরমের সময় বেশী গরম বলিয়া মনে হয়।

(ii) শীতকালে আমাদের শরীরের তাপ সংরক্ষণের জন্য পশম, ফ্লানেল, পশুর লোম প্রভৃতি কুপরিবাহী পদার্থের দ্বারা তৈরী জামা পরিয়া থাকি। এইসব পদার্থগুলি তাপের কুপরিবাহী হওয়ায় উহারা পরিবহণ প্রণালীতে তাপ চলাচলে বাধা হয়। তাহা ছাড়াও উহাদের আল্গা বুনানির ফাঁকে ফাঁকে যে কুপরিবাহী বাতাস থাকে তাহাও পরিবহণ প্রণালীতে তাপ চলাচলে বাধা দেয়। এই কারণে আমাদের শরীরের তাপ সুরক্ষিত হয়।

আবার দুইটি জামা পরিলে যেরূপ আরাম পাওয়া যায়, সমান পুরুর একই পদার্থের একটি জামা পরিলে কিন্তু সেরূপ আরাম পাওয়া যায় না। কারণ প্রত্যেকটি জামা কুপরিবাহী পদার্থের তৈরী বলিয়া তাহারা তাপ পরিবহণে বাধা দেয়, ইহা ছাড়াও দুই জামার মধ্যবর্তী স্থানে আবদ্ধ কুপরিবাহী বাতাসও তাপ পরিবহণে বাধা দেয়। এজন্য একটি জামা অপেক্ষা দুইটি জামা পরিলে শীতকালে আমাদের শরীরের তাপ বেশী সুরক্ষিত হয়।

(iii) ঘরের ছাদ খড় দ্বারা তৈরী হইলে গরমের সময় ঘর ঠাণ্ডা থাকে এবং শীতের সময় ঘর গরম থাকে। ইহার কারণ খড় তাপের কুপরিবাহী এবং ঐ খড়গুলির মধ্যে কুপরিবাহী বাতাস আবদ্ধ থাকে। এই দুই কারণে পরিবহণ প্রণালীতে তাপ চলাচল হইতে পারে না।

7-6. তাপ পরিচলনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগ (Some practical applications of the convection of heat) ঃ (a) (i) **ঘরে গরম জলের সরবরাহ ঃ**—ইহার জন্য অট্টালিকার নিম্নদেশে বয়লারের (V_1) জল লইয়া ঐ জলকে গরম করা হয়। ঐ গরম জল হাল্‌কা হইয়া P_1 নল দিয়া উপরের পাত্রে (V_2) যায় এবং ঐ পাত্রের (V_2) ঠাণ্ডা জল অপর নলের (P_2) সাহায্যে বিভিন্ন ঘরের নলের মধ্য দিয়া প্রবাহিত হইয়া বয়লারে ফিরিয়া আসে। এই ফিরিয়া আসা জল পুনরায় গরম হইয়া উপরের পাত্রে (V_2) পরিচালিত হয়। এইভাবে কিছুক্ষণের মধ্যেই সমস্ত জল গরম হইয়া যাইবে এবং ঘরের মধ্যস্থ নলে (P_2) গরম জল প্রবাহিত হইতে থাকিবে। ঘরের মধ্যস্থ P_2 নলের সংলগ্ন কল খুলিলে গরম জল পাওয়া যাইবে। [7.7নং চিত্র]।

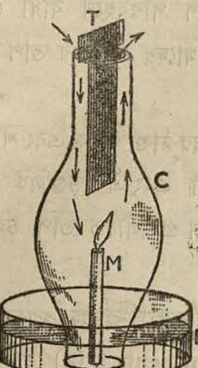


চিত্র 7.7 : ঘরে গরম জলের সরবরাহ

(ii) **শীতকালে ঘর গরম রাখা**.—এই পদ্ধতিতে শীতকালে ঘর গরম রাখিতে হয়। ইহার জন্য P_2 নলকে ঘরের মধ্যে অনেকবার বাঁকাইয়া লওয়া হয়। যখন গরম জল (প্রায় 100°C) বাঁকা নলের (P_2) মধ্য দিয়া প্রবাহিত হয় তখন তাহা হইতে বিকীর্ণ তাপে ঘর গরম হয়। সাধারণতঃ গরম জলের বদলে P_2 নলের মধ্যে স্টীম কিংবা উষ্ণ বাতাস প্রবাহিত করানো হয়।

(b) **বায়ু-চলাচল** (Ventilation) :—(i) কোন ঘরে (বা আবদ্ধ স্থানে) বায়ু চলাচলের জন্য দুইটি রাস্তার প্রয়োজন—একটি ঘরের নীচের দিকে অপরটি ঘরের উপরের দিকে। ঘরের বাতাস যখন গরম ও হাল্‌কা হইয়া উপরের রাস্তা দিয়া বাহিরে চলিয়া যায় তখন নীচের রাস্তা দিয়া বাহিরের বিশুদ্ধ বাতাস ঘরে প্রবেশ করে। এইভাবে ঘরের বাতাস দূষিত হয় না। বায়ু চলাচলের এইরূপ পদ্ধতিকে **পরিচলন-প্রবাহ** বলে।

বায়ু চলাচলের জন্য যে দুইটি রাস্তার প্রয়োজন তাহা একটি সামান্য পরীক্ষা দ্বারা দেখান যাইতে পারে। একটি কাচের পাত্রের (B) তলায় একটি জ্বলন্ত মোমবাতি (M) খাড়াভাবে আটকাইয়া পাত্রে কিছু জল ঢালিয়া দেওয়া হইল [7.8নং চিত্র]। ঐ জলের মধ্যে একটি চিম্নিকে (C) বসাইয়া রাখিলে চিম্নির নীচের মুখ জল দ্বারা বন্ধ হইয়া যাইবে কিন্তু উপরের মুখ খোলা থাকিবে। মোমবাতির শিখার চারিপাশের বাতাস গরম এবং দূষিত হইয়া হাল্কা হইবে এবং চিম্নির উপরের মুখ দিয়া বাহিরে চলিয়া যাইবে। বাহিরের বাতাসের চিম্নির মধ্যে আসিবার কোন দ্বিতীয় রাস্তা না থাকায় মোমবাতি কিছুক্ষণ জ্বলার পর (যতক্ষণ চিম্নির মধ্যে অক্সিজেন থাকে) নিবিয়া যাইবে। এক্ষণে T-আকৃতির একটি কার্ডবোর্ড চিম্নির মুখে বসাইলে মোমবাতি স্থিরভাবে জ্বলিতে থাকিবে। এই T-আকৃতির কার্ডবোর্ডের দুই পাশে দুইটি রাস্তা হওয়ায়, একটি রাস্তা দিয়া ভিতরের গরম হাল্কা বাতাস বাহিরে আসিবে (যাহা ঊর্ধ্বমুখী তীর দ্বারা দেখান হইয়াছে) এবং অপর রাস্তা দিয়া বাহিরের ঠাণ্ডা বাতাস চিম্নির মধ্যে প্রবেশ করিয়া অক্সিজেনের যোগান দিতে থাকিবে (ইহা নিম্নমুখী তীর দ্বারা দেখান হইয়াছে)। অক্সিজেনের অবিরাম যোগান পাওয়ায় মোমবাতি (M) স্থিরভাবে জ্বলিতে থাকে।



চিত্র 7.8 : বায়ু-চলাচল দেখাইবার পরীক্ষা

(ii) বায়ুর এইরূপ পরিচলন স্রোতের জন্য হ্যারিকেনের আলো জ্বলে। হ্যারিকেনের দীপ শিখার চারিপাশের বাতাস গরম ও হাল্কা হইয়া উপরের ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া বাহিরে চলিয়া যায়। সঙ্গে সঙ্গে বাহিরের বাতাস চিম্নির নীচের ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়া ভিতরে প্রবেশ করিয়া অক্সিজেনের অবিরাম যোগান দিতে থাকে। ইহার ফলে হ্যারিকেনের আলো স্থিরভাবে পাওয়া যায়।

(iii) বায়ুতে পরিচলন-স্রোত সৃষ্টির জন্য, বায়ুপ্রবাহ, জলবায়ু, স্থলবায়ু, মৌসুমী বায়ু প্রভৃতি হইয়া থাকে।

7-7. বিকিরণ এবং বিকিরণে শক্তি-সঞ্চালন (Radiation and transmission of energy in radiation) :

বিকিরণ :—পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, তাপ সঞ্চালনের যে পদ্ধতিতে কোন বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন হয় না কিংবা বাস্তব মাধ্যমের মধ্য দিয়া তাপ সঞ্চালিত হইলেও উহাকে উত্তপ্ত করে না, সেই পদ্ধতিকে বিকিরণ বলে।

বিকীর্ণ তাপ একটি শক্তি :—আমরা জানি যে তাপ একটি শক্তি [5-1

অনুচ্ছেদ দেখ]। কাজেই বিকিরণ পদ্ধতিতে তাপ-সঞ্চালনকে শক্তি-সঞ্চালনও বলা যাইতে পারে। বিকীর্ণ তাপ যখন শূন্য স্থানের মধ্য দিয়া বিস্তার লাভ করে তখন ঐ তাপ সঞ্চালনের সহিত যে শক্তিও সঞ্চালিত হইতেছে তাহার কোনরূপ বাহ্যিক প্রকাশ ঘটে না। কিন্তু বিকীর্ণ তাপ যখন কোন বাস্তব মাধ্যমের মধ্য দিয়া যায় এবং ঐ মাধ্যম যদি বিকীর্ণ তাপকে শোষণ করে তাহা হইলে ঐ মাধ্যমের উষ্ণতা-বৃদ্ধি উপলব্ধি করিয়া বলা যাইতে পারে যে বিকিরণ পদ্ধতিতে যে তাপ সঞ্চালিত হয় তাহা শক্তির সঞ্চালন মাত্র। আবার আরও প্রমাণিত হইয়াছে যে আলো ও বিকীর্ণ তাপ একই গোষ্ঠিভুক্ত। আলো যে সমস্ত নিয়ম মানিয়া চলে এবং যে সমস্ত ঘটনা দেখায়, বিকীর্ণ তাপও সেই সমস্ত নিয়ম মানিয়া চলে এবং সেই সমস্ত ঘটনা দেখাইয়া থাকে। কিন্তু অন্য কোন শক্তিকে আলোতে রূপান্তরিত হইতে দেখিয়া বলা যাইতে পারে যে আলো একটি শক্তি। আলো এবং বিকীর্ণ তাপ একই নিয়মে যখন চলে তখন বিকীর্ণ তাপও একটি শক্তি। পরীক্ষা দ্বারাও প্রমাণ করা যায় যে বিকীর্ণ তাপ একটি শক্তি।

একটি পারদ থার্মোমিটারের কুণ্ডে (bulb) ভুসাকালি মাখাইয়া উহাকে একটি শূন্যস্থানের মধ্যে রাখা হইল। দূরে একটি লোহিত উষ্ণ বল রাখিলে উহার তাপ, বিকিরণ পদ্ধতিতে বিস্তার লাভ করিয়া যখন থার্মোমিটারের কাল কুণ্ডের উপরে পড়িবে তখন ঐ থার্মোমিটারের উষ্ণতা-বৃদ্ধি দেখা যাইবে। বিকীর্ণ তাপ (যাহা অদৃশ্য) শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া আসিয়া যখন কাল কুণ্ডের উপরে পড়িল তখন ঐ কাল কুণ্ড বিকীর্ণ তাপকে শোষণ করিল এবং উহা তাপে রূপান্তরিত হইল। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে বিকীর্ণ তাপ একটি শক্তি।

7-8. বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি ও ধর্ম (Nature and properties of Radiant heat) ঃ

বিকীর্ণ তাপের প্রকৃতি ঃ বিকীর্ণ তাপ এবং আলো একই গোষ্ঠীভুক্ত। উভয়েই তরঙ্গাকারে এবং একই বেগে চলে। প্রকৃতপক্ষে বেতার তরঙ্গ, বিকীর্ণ তাপ, দৃশ্যমান আলো, অতি বেগুনী ও রঞ্জন রশ্মি প্রভৃতি অদৃশ্য আলোও একই গোষ্ঠী-ভুক্ত ; উহাদের পার্থক্য কেবল তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যে। বেতার তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব বেশী এবং অতিবেগুনী ও রঞ্জন রশ্মি প্রভৃতি অদৃশ্য আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অত্যন্ত কম। আবার দৃশ্যমান আলোর মধ্যে লাল আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য বেশী এবং বেগুনী আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম। বিকীর্ণ তাপের তরঙ্গ দৈর্ঘ্য লাল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য অপেক্ষাও বেশী। এজন্য বিকীর্ণ তাপ-তরঙ্গকে **অবলোহিত তরঙ্গ** (infra-red waves) বলা হয়। শূন্য স্থানের মধ্যে বিকীর্ণ তাপ ও আলো একই বেগে (186000 মাইল প্রতি সেকেণ্ডে কিংবা 3×10^{10} সে. মি. প্রতি সেকেণ্ডে) বিস্তার লাভ করে। বিকীর্ণ তাপ যখন কোন বস্তুর দ্বারা শোষিত হয় তখন ঐ বস্তুর উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয় এবং এই উষ্ণতা-বৃদ্ধি বস্তুর

প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। মসৃণ বস্তু অপেক্ষা কাল বস্তুর বিকীর্ণ তাপ শোষণ করিবার ক্ষমতা বেশী এজন্য বিকীর্ণ তাপ কাল বস্তুর উপর পড়িলে উহার যেরূপ উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয় চক্‌চকে বস্তুর উপর পড়িলে তাহার সেরূপ উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয় না। বিকীর্ণ তাপ অদৃশ্য, কিন্তু তাপ উৎপাদন ক্ষমতা বেশী। এজন্য উষ্ণতা-জ্ঞাপক যন্ত্র দ্বারা বিকীর্ণ তাপ মাপার ব্যবস্থা করা হয়।

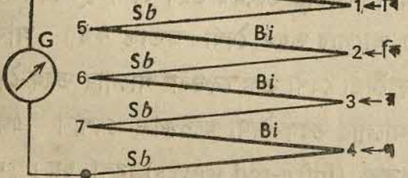
বিকীর্ণ তাপের ধর্ম :—(i) কোন সমসত্ব মাধ্যমে বিকীর্ণ তাপ সর্বদিকে সমগতিতে (আলোর গতিবেগে) বিস্তার লাভ করে। সূর্যের পূর্ণগ্রহণের সময় যখন আলো পৃথিবীতে আসে না তখন দেখা যায় যে সূর্যের আলো ও তাপ একই সঙ্গে বন্ধ হইয়া যায়। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে আলো ও বিকীর্ণ তাপ একই বেগে চলে।

(ii) আলোর প্রতিফলন (reflection), প্রতিসরণ (refraction), ব্যতিচার (interference), ব্যবর্তন (diffraction), সমবর্তন (polarisation) যে যে নিয়মে হইয়া থাকে বিকীর্ণ তাপের বেলায়ও ঐ সব ঘটনা একই নিয়মে ঘটিতে দেখা যায়। কাজেই আলো ও বিকীর্ণ তাপ একই গোষ্ঠীভুক্ত।

(iii) আলো যেমন শূন্য স্থানের মধ্য দিয়া সরলরেখা ধরিয়া চলিতে পারে বিকীর্ণ তাপও সেইরূপ শূন্যস্থানের মধ্য দিয়া বিস্তার লাভ করে এবং সরলরেখা ধরিয়া চলিতে পারে।

(iv) কোন বিন্দুতে বিকীর্ণ তাপের তীব্রতা (intensity), বিকিরক (radiator) হইতে ঐ বিন্দুর দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। আলোর উৎস হইতে কিছু দূরে কোন বিন্দু লইলে ঐ বিন্দুতে আলোর তীব্রতাও একই নিয়মে পরিবর্তিত হয়। কাজেই আলো এবং বিকীর্ণ তাপ একই নিয়ম মানিয়া চলে।

বিকীর্ণ তাপের উপস্থিতি নির্ণয় করিবার যন্ত্র : থার্মোপাইল নামক যন্ত্রের সাহায্যে বিকীর্ণ তাপের অস্তিত্ব ধরা যায়। ইহাতে অনেকগুলি বিসমাথ (*Bi*) ও অ্যান্টিমনি (*Sb*) ধাতুর দণ্ডকে শ্রেণীবদ্ধভাবে যুক্ত করিয়া উহাদিগকে একটি ঘনকের আকার দেওয়া হয়। ঐ দুই ধাতুকে পরস্পরের সহিত অন্তরিত করিয়া রাখা হয় [7.9নং চিত্র]। এই দুই ধাতুর যে সন্ধিস্থলগুলির উপর (1, 2, 3, 4, প্রভৃতি) বিকীর্ণ তাপ ফেলিতে হইবে তাহাদিগকে একদিকে রাখা হয় এবং এই সন্ধিস্থলগুলিকে ইচ্ছামত উন্মুক্ত কিংবা বন্ধ করা যায়। যুগ্ম ধাতুর বিপরীত সন্ধিস্থলগুলিকে (5, 6, 7 প্রভৃতি) সর্বদা ঢাকিয়া রাখা হয়। উন্মুক্ত সন্ধিস্থলগুলির উপর বিকীর্ণ তাপ



চিত্র 7.9 : থার্মোপাইল

পড়িলে ঐ সন্ধিস্থলগুলি গরম হইবে এবং ইহার ফলে বর্তনীতে একটি তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হইবে যাহার অস্তিত্ব গ্যালভ্যানোমিটারের (G) সূচকের বিচ্যুতি দেখিয়া বোঝা যাইবে। সুতরাং গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের কম-বেশী বিচ্যুতি হইলে বুঝিতে হইবে যে আপতিত বিকীর্ণ তাপের তীব্রতাও কম-বেশী আছে।

7·9. বিকিরণ সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির ব্যাখ্যা (Explanation of some terms relating to radiation) : (a) **বিকিরণতা** (Emissivity) :—কোন পদার্থের উষ্ণতা, উহার বেষ্টনকারী মাধ্যমের উষ্ণতা হইতে 1°C বেশী থাকিলে পদার্থ-পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে 1 সেকেণ্ডে যে তাপ বিকীর্ণ হইবে তাহাকে ঐ পদার্থ-পৃষ্ঠের তাপ **বিকিরণতা** বলে। মনে কর কোন বস্তুর উষ্ণতা উহার বেষ্টনকারী মাধ্যমের উষ্ণতা অপেক্ষা θ°C বেশী আছে। এক্ষণে যদি পদার্থ-পৃষ্ঠের s ক্ষেত্রফল হইতে t সেকেণ্ডে Q পরিমাণ তাপ বিকীর্ণ হয় তাহা হইলে পদার্থ-পৃষ্ঠের তাপ বিকিরণতা হইবে, $\frac{Q}{s\times\theta\times t}$ ক্যালরি প্রতি বর্গ সেণ্টিমিটারে, প্রতি ডিগ্রী সেন্টিগ্রেডে, প্রতি সেকেণ্ডে।

নির্দিষ্ট উষ্ণতায় কোন তলের বিকিরণতা ঐ তলের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। কালো তলের বিকিরণতা সর্বাপেক্ষা বেশী এবং চক্‌চকে তলের বিকিরণতা সর্বাপেক্ষা কম। এজন্য চায়ের কাপের বাহিরের তল, থার্মোফ্লাস্কের ভিতরের তল চক্‌চকে করিয়া রাখা হয়। তলের প্রকৃতির উপর যে উহার তাপ বিকিরণতা নির্ভর করে তাহা নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারাও দেখান যায়।

ঘনকের আকারের একটি ফাঁপা বাক্স লইয়া তাহার মধ্যে গরম জল লওয়া হইল। এই বাক্সের চারিটি উল্লম্ব তলের একটিকে ভুসাকালি দ্বারা কাল করা থাকে, দ্বিতীয়টিকে চক্‌চকে করা হয়, তৃতীয়টিকে অমসৃণ রাখা হয় এবং চতুর্থটিকে সাদা রঙ দ্বারা রঞ্জিত করা হয় [এই ঘনককে **লেস্‌লি ঘনক** (Leslie cube) বলে]। এই চারিটি উষ্ণতলকে পর পর থার্মোপাইলের মুখের সামনে রাখিলে দেখা যায় যে কালতলের ক্ষেত্রে থার্মো-পাইল সংলগ্ন গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের বিক্ষেপ সর্বাপেক্ষা বেশী হয় এবং চক্‌চকে তলের ক্ষেত্রে ঐ বিক্ষেপ সর্বাপেক্ষা কম হয়।

(b) **তাপ বিকিরণ ক্ষমতা বা বিকিরণ গুণাঙ্ক** (Emissive power or coefficient of emission) : একটি নির্দিষ্ট বস্তুর পৃষ্ঠকে এবং একটি আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর পৃষ্ঠকে একই মাধ্যমের মধ্যে এবং একই উষ্ণতায় রাখিলে, নির্দিষ্ট পৃষ্ঠের বিকিরণতা (e) এবং আদর্শ কৃষ্ণ পৃষ্ঠের বিকিরণতার (E) অনুপাতকে প্রদত্ত উষ্ণতায় নির্দিষ্ট পৃষ্ঠের তাপ বিকিরণ ক্ষমতা বা তাপ বিকিরণ-গুণাঙ্ক বলে। অতএব, নির্দিষ্ট পৃষ্ঠের বিকিরণ গুণাঙ্ক $=e/E$।

আদর্শ কৃষ্ণবস্তু কাহাকে বলে এবং কিভাবে পাওয়া যায় ঃ উপরে 'আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু' কথাটির উল্লেখ করা হইয়াছে কিন্তু ঐ কথা দ্বারা আমরা কি বুঝিয়া থাকি তাহার ব্যাখা এখানে দেওয়া হইবে। যে বস্তু, উহার উপর আপতিত সব তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের বিকীর্ণ তাপকে শোষণ করে এবং উহার কোন অংশই প্রতিফলিত হয় না কিংবা পদার্থের মধ্য দিয়া নির্গত হয় না সেই বস্তুকেই **আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু** (perfectly black body) বলে। আবার যখন আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুকে উত্তপ্ত করা হয় তখন উহা সমস্ত তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তাপ বিকিরণ করে। এই বিকির্ণ তাপকে**পূর্ণ-বিকিরণ** (full or total radiation) কিংবা **কৃষ্ণবস্তু-বিকিরণ** (black body radiation) বলে।

ভুসাকালি (lamp-black) এবং প্ল্যাটিনাম ব্ল্যাক (platinum black) আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুর প্রায় কাছাকাছি যায়। আবার দেখা গিয়াছে যে তাপ-অন্তরক পদার্থ দ্বারা চতুর্দিক বন্ধ একটি প্রকোষ্ঠকে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রাখিলে প্রকোষ্ঠের মধ্যে যে তাপ বিকিরণ হয় তাহার গুণাগুণ এবং ঐ উষ্ণতায় রক্ষিত একটি কৃষ্ণ বস্তু দ্বারা বিকীর্ণ তাপের গুণাগুণ প্রায় সমান। ঐ প্রকোষ্ঠে খুব সরু একটি ছিদ্র রাখিলে উহার মধ্য দিয়া যে বিকীর্ণ তাপ নির্গত হইবে তাহা ঐ প্রকোষ্ঠের উষ্ণতায় উৎপন্ন কৃষ্ণ-বস্তু বিকিরণ হিসাবে গ্রহণ করা চলে।

(c) **তাপ শোষণ ক্ষমতা বা শোষণ-গুণাঙ্ক** (Absorptive power or coefficient of absorption) **:** T°K উষ্ণতায় রক্ষিত কোন পদার্থ-পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফলের উপরে প্রতি সেকেণ্ডে Q পরিমাণ বিকীর্ণ তাপ আপতিত হইলে যদি ঐ আপতিত তাপের Q' অংশ প্রতি সেকেণ্ডে শোষিত হয় তাহা হইলে ঐ পৃষ্ঠের তাপ-শোষণ ক্ষমতা বা শোষণ-গুণাঙ্ক হইবে $a=Q'/Q$। আদর্শ কৃষ্ণ পদার্থের তলের ক্ষেত্রে আপতিত তাপের সবটুকুই শোষিত হয়। অর্থাৎ, $Q'=Q$ হয়। এক্ষেত্রে তাপ-শোষণ ক্ষমতা=1। কিন্তু সাদা বা চক্‌চকে তলের ক্ষেত্রে তাপ শোষণ ক্ষমতা ($=a$) খুব কম। এজন্য শীতকালে কালো জামা পরা এবং গ্রীষ্মকালে সাদা জামা পরা আরামদায়ক।

(d) **তলের তাপ প্রতিফলন এবং নির্গমন ক্ষমতা** (Reflecting power and transmitting power of a surface) :—(i) যদি কোন তলের উপর Q পরিমাণ আপতিত তাপের Q' পরিমাণ তাপ নিয়মিতভাবে প্রতিফলিত হয় তাহা হইলে ঐ তলের তাপ প্রতিফলন ক্ষমতা$=r=Q'/Q$। পালিশ করা ধাতব তলের তাপ প্রতিফলন ক্ষমতা বেশী এবং এই ক্ষমতা আপতিত তাপের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং আপতন কোণের উপর নির্ভর করে। দেখা গিয়াছে যে, উত্তম তাপ-প্রতিফলক মন্দ তাপ-বিকিরক হয়।

(ii) যদি একক দৈর্ঘ্যের ঘনকের এক পৃষ্ঠে Q পরিমাণ তাপ আপতিত হয় এবং Q' পরিমাণ তাপ উহার বিপরীত পৃষ্ঠ হইতে নির্গত হয় তাহা হইলে ঘনকের পদার্থের তাপ নির্গমন ক্ষমতা$=t=Q'/Q$। দেখা গিয়াছে কেলাসিত সৈন্ধব লবণ (rock salt),

কোয়ার্টজ (quartz) প্রভৃতির তাপ-নির্গমন ক্ষমতা বেশী। কাচ অপেক্ষাকৃত দীর্ঘ তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের তাপকে শোষণ করে।

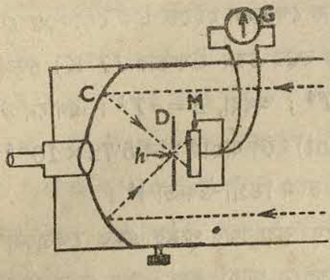
7-10. স্টিফানের সূত্র এবং তাহার প্রয়োগ (Stefan's Law and its applications) : (a) **স্টিফানের সূত্র**—এই সূত্র বিবৃত করে যে $T°$K উষ্ণতায় রক্ষিত কোন কৃষ্ণবস্তুর পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে এক সেকেণ্ডে যে পরিমাণ পূর্ণ-তাপশক্তি (E) বিকির্ণ হইবে তাহা কৃষ্ণ-বস্তুর চরম উষ্ণতার ($T°$K) চতুর্থ শক্তির (T^4) সহিত সমানুপাতিক। অর্থাৎ, $E \propto T^4$; অথবা, $E = \sigma T^4$। এখানে σ একটি ধ্রুবক যাহাকে ষ্টিফান-ধ্রুবক (stefan constant) বলে যাহার মান $5{\cdot}72 \times 10^{-5}$ আর্গ প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে, প্রতি সেকেণ্ডে, প্রতি (চরম ডিগ্রী-উষ্ণতা)^4।

সূত্রের ব্যাখ্যা : এই সূত্র হইতে জানা যায় যে কৃষ্ণ বস্তুর পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে এক সেকেণ্ডে যে পরিমাণ তাপ বিকীর্ণ হইবে তাহা কৃষ্ণ বস্তুর কেবলমাত্র চরম উষ্ণতা ($T°$K) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কৃষ্ণ বস্তু তাহার চতুঃপার্শ্বস্থ মাধ্যম হইতে যে তাপ গ্রহণ করিল তাহা দ্বারা কৃষ্ণ বস্তুর বিকীর্ণ তাপের হার মোটেই প্রভাবিত হয় না। এই সূত্রটি কেবলমাত্র আদর্শ কৃষ্ণবস্তুর বিকিরণের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য, অন্য কোন প্রকার বস্তুর বিকিরণে এই সূত্রটি খাটে না। যদি কৃষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা $T°$K হয় এবং উহার চতুঃপার্শ্বস্থ কৃষ্ণ মাধ্যমের উষ্ণতা $T_0°$K হয় ($T > T_0$) তাহা হইলে $T°$K উষ্ণতার কৃষ্ণ বস্তুর পৃষ্ঠের একক ক্ষেত্রফল হইতে এক সেকেণ্ডে যে মোট পরিমাণ তাপ বিকীর্ণ হইবে তাহা হইবে $E = \sigma(T^4 - T_0^4)$।

(b) **সূত্রের প্রয়োগ :** কোন উষ্ণ বস্তু যত দূরেই থাকুক না কেন এবং উহার উষ্ণতা যত বেশীই হউক না কেন, ষ্টিফানের সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা ঐ উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা মাপা যায়। যেহেতু ষ্টিফানের সূত্র কেবলমাত্র কৃষ্ণ বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য সেইহেতু এই সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা উষ্ণ বস্তুর যে উষ্ণতা নির্ণীত হইবে তাহা বস্তুর প্রকৃত উষ্ণতা অপেক্ষা কম হইবে। কারণ উষ্ণ বস্তুটি কৃষ্ণ বস্তু না হওয়ায় উহা যে হারে তাপ বিকীর্ণ করিতেছে তাহা একটি কৃষ্ণ বস্তু কম উষ্ণতায় বিকীর্ণ করিতে পারিবে। যে যন্ত্র দ্বারা এরূপ উচ্চ উষ্ণতা (অন্তত 600°C-এর উপরে হইতে হইবে) মাপা যায় তাহাকে বিকিরণ-পাইরোমিটার (radiation pyrometer) বলে। নিম্নে এরূপ একটি পাইরোমিটারের সংক্ষিপ্ত বিবরণ দেওয়া হইল।

(i) **দূরে অবস্থিত উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা নির্ণয় :** দূরে অবস্থিত একটি উষ্ণ বস্তুর দ্বারা বিকীর্ণ তাপকে অবতল দর্পণ (C) হইতে প্রতিফলিত করাইয়া ঐ প্রতিফলিত তাপকে একটি পর্দার (D) ছিদ্রের (h) উপর কেন্দ্রীভূত করা হয়। ঐ ছিদ্র (h) হইতে নির্গত তাপ, একটি ধাতব প্লেটের (M) সামনের কালো তলের উপর আপতিত হইয়া ঐ তলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি করে। ধাতব প্লেটের পশ্চাতে থার্মো-কাপলের একটি সন্ধিস্থল

যুক্ত করা থাকে এবং ঐ কাপ্‌লের অপর সন্ধিস্থলকে ঢাকিয়া রাখা হয় যাহাতে উহার উপর কোন বিকীর্ণ তাপ না পড়ে। যখন বিকীর্ণ তাপ ধাতব প্লেটের (M) কালো তলে পড়ে তখন ঐ তলের উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য থার্মো-কাপ্‌লে যে তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি হয় তাহা কাপ্‌লের সহিত যুক্ত একটি গ্যালভ্যানোমিটারের (G) সূচকের বিক্ষেপ দেখাইবে।



চিত্র 7.10 : পাইরোমিটার

দূরে অবস্থিত বস্তুর উষ্ণতা (T°K) যত বেশী হইবে গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের বিক্ষেপ তত বেশী হইবে। যদি ধাতব প্লেটের (M) কালো তলের উষ্ণতা $T_{\circ}$°K হয় তাহা হইলে দূরের উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতার (T°K) সহিত গ্যালভ্যানোমিটারের সূচকের বিক্ষেপের (d) যে সম্বন্ধ হইবে তাহা $d \propto (T^4 - T_{\circ}^4)$ দ্বারা প্রকাশ করা যায়। এই সূত্র হইতে দূরের উষ্ণ বস্তুর উষ্ণতা T°K নির্ণয় করিতে হইলে এই পাইরোমিটারকে একটি কৃষ্ণ বস্তুর সামনে রাখিতে হইবে যাহাকে বিভিন্ন জানা উষ্ণতায় রাখা যাইতে পারে। এই প্রদত্ত কৃষ্ণ বস্তুর বিভিন্ন জানা উষ্ণতার ($=T'$°K) জন্য গ্যালভ্যানোমিটারের যে বিক্ষেপ ($=d'$) পাওয়া যাইবে তাহা মাপিতে হইবে। এক্ষণে $\log T'$-কে x-অক্ষের দিকে এবং $\log d'$-কে y-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিয়া একটি লেখচিত্র অঙ্কন করিলে ঐ লেখচিত্র হইতে দূরের বস্তুর উষ্ণতা T°K নির্ণয় করা যাইবে।

(ii) **সূর্যের উপরতলের উষ্ণতা :** স্টিফানের সূত্রের প্রয়োগ দ্বারা সূর্যের বাহিরের তলের উষ্ণতা নির্ণয় করা যায় যদি ধরিয়া লওয়া হয় যে সূর্যের বাহিরের তল একটি আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু, কারণ সূত্রটি কেবলমাত্র কৃষ্ণ বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। দেখান যাইতে পারে যে সূর্যের উপরতলের উষ্ণতা,

$$= T^{\circ}\mathrm{K} = \left(\frac{S_{\circ}}{60\sigma} \times \frac{r_1^{\,2}}{r_2^{\,2}}\right)^{\frac{1}{4}} \qquad \ldots \qquad (7\text{-}10a)$$

এখানে $S_{\circ}$-কে সৌর-ধ্রুবক (solar constant) বলে যাহার মান 1·937 ক্যালরি প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে প্রতি মিনিটে।

সৌরধ্রুবকের সংজ্ঞা—পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলকে অনুপস্থিত ধরিয়া লইয়া, যদি পৃথিবীর উপর এক বর্গসেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলের একটি আদর্শ কৃষ্ণতল রাখা হয় তাহা হইলে ঐ কৃষ্ণ তলের উপর লম্বভাবে আপতিত বিকীর্ণ সূর্যতাপ, প্রতি মিনিটে যে পরিমাণ দ্বারা শোষিত হইবে তাহাকে **সৌর ধ্রুবক** বলে।

σ = স্টিফান-ধ্রুবক ; r_1 = সূর্য এবং পৃথিবীর মধ্যের গড় দূরত্ব ; r_2 = সূর্যের ব্যাসার্ধ। (7-10a) সূত্র হইতে সূর্যের উপরতলে উষ্ণতা পাওয়া যায় 5780°K।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective questions) [অধ্যায় 7]

1. তাপ সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ এবং দৃষ্টান্ত দ্বারা বুঝাইয়া দাও। বিভিন্ন প্রকার তাপ সঞ্চালনের মধ্যে কোন পার্থক্য আছে কি ? [Art. 7-1]

2. নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর : (i) তাপ-পরিবাহিতা, (ii) তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক, (iii) উষ্ণতা পরিবাহিতা কিংবা তাপ-ব্যাপনতা। তাপ-পরিবাহিতাঙ্কের একক কি ? [Art, 7-2]

3. বিভিন্ন কঠিনের তাপ পরিবাহিতাঙ্কের তুলনা করিবার একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর এবং দেখাও যে তামা অপেক্ষা রূপা তাপের বেশী সুপরিবাহী। [Art. 7-3]

4. তাপের সুপরিবাহী এবং কুপরিবাহী পদার্থ বলিতে কি বুঝ ? কুপরিবাহী কঠিনের কয়েকটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ এবং ব্যাখ্যা কর। [Art. 7-4]

5. পরীক্ষা দ্বারা দেখাও যে, (i) পারদ তাপের সুপরিবাহী কিন্তু জল তাপের কুপরিবাহী ; (ii) বাতাস অপেক্ষা হাইড্রোজেন গ্যাসের তাপের পরিবাহিতা বেশী। [Art. 7-5]

6. পরিবহন ও পরিচলন পদ্ধতিতে তাপ সঞ্চালনের ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ কর। পরিচলন প্রবাহ কিভাবে সৃষ্টি হয় এবং ইহার জন্য কিরূপ ব্যবস্থা অবলম্বন করা প্রয়োজন ? [Arts. 7-5 ও 7-6]

7. বিকিরণ কাহাকে বলে ? বিকিরণে যে শক্তি সঞ্চালিত হয়, তাহার কোন প্রমাণ আছে কি ? [Art. 7-7]

8. বিকীর্ণ তাপ ও আলো যে একই গোষ্ঠীভুক্ত তাহার কোন প্রমাণ আছে কি ? বিকির্ণ তাপের উপস্থিতি জানিবার কোন যন্ত্রের বিবরণ দাও। [Art. 7-8]

9. তাপ বিকিরণতা কাহাকে বলে ? কালো তলের তাপ-বিকিরণতা বেশী এবং চকচকে তলের তাপ বিকিরণতা কম—ইহা কিভাবে দেখান যায় ? তাপ-বিকিরণতার সহিত তাপ বিকিরণ ক্ষমতার কি পার্থক্য আছে ? [Art. 7-8]

10. আদর্শ কৃষ্ণ বস্তু কাহাকে বলে ? পূর্ণ-বিকিরণ ও কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ বলিতে কি বুঝ ? বাস্তবে কৃষ্ণ বস্তু বিকিরণ কিভাবে পাওয়া যায় ?

11. তাপ-শোষণ ক্ষমতা বলিতে কি বুঝ ? কোন তলের প্রকৃতি কিরূপ হইলে উহার তাপ শোষণ ক্ষমতা সর্বাপেক্ষা বেশী এবং সর্বাপেক্ষা কম হইবে ? [Art. 7-9]

12. ষ্টিফানের সূত্রটি বল এবং তাহার ব্যাখ্যা কর। ষ্টিফান ধ্রুবক বলিতে কি বুঝ ? ইহার মান কত ? ষ্টিফান সূত্রের দুইটি ব্যবহারিক প্রয়োগের উল্লেখ ও ব্যাখ্যা কর। [Art. 7-10]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective type Questions) [অধ্যায় 7]

A. Yes or no type : (1) সর্বপ্রকার তাপ সঞ্চালনের জন্যই কি বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন ? (2) তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক এবং উষ্ণতা-পরিবাহিতা কি বিভিন্ন অর্থে ব্যবহৃত হয় ? (3) ষ্টিফানের বিকিরণ সূত্রটি কি কেবলমাত্র আদর্শ কৃষ্ণ বস্তুর ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য ?

B. True or False type : (1) অ্যালুমিনিয়াম পাত্রে দুধ দ্রুত গরম করিতে হইলে উহার তলা কালো করিয়া রাখার প্রয়োজন। (2) পরিচলন পদ্ধতি অপেক্ষা পরিবহন পদ্ধতিতে জলকে দ্রুত গরম করা যায়। (3) ঘরে বায়ু চলাচলের জন্য ঘরের উপরে একটি ছিদ্র থাকিলেই চলে।

C. Completion type : (1) কোন পদার্থের উষ্ণতার—অবস্থায় উহার কোন স্তরের উষ্ণতা যে হারে পরিবর্তিত হয় তাহাই ঐ পদার্থের—হইবে। (2) শীতকালে দুইটি জামা পরিলে যেরূপ আরাম পাওয়া যায়,—পুরু একই পদার্থের একটি জামা পরিলে সেরূপ আরাম পাওয়া—। (3) আলো যে যে নিয়ম মানিয়া চলে বিকীর্ণ তাপও সেই সেই—মানিয়া চলে ; কাজেই বিকির্ণ তাপ ও আলো একই—।

D. Multiple choice type : (1) তাপ বিকিরণ কি পদ্ধতিতে হয় ?—তরঙ্গাকারে হয়, বাস্তব মাধ্যমের সাহায্যে হয়। (2) পরিচলন পদ্ধতিতে কি কি পদার্থ উত্তপ্ত হয় ?—তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ ; এই পদ্ধতিতে মাধ্যমের মধ্য দিয়া তাপ পরিচালিত হইলেও মাধ্যম উত্তপ্ত হয় না ? (3) তাপ সঞ্চালনের কোন পদ্ধতি খুব দ্রুত ? পরিবহন, পরিচলন, বিকিরণ।

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 7]

1. একটি জানালার কাচের ক্ষেত্রফল এক বর্গ মিটার এবং উহা 2 মি.মি. পুরু। ঘরের ভিতরের উষ্ণতা 15°C এবং বাহিরের উষ্ণতা 5°C হইলে প্রতি ঘণ্টায় কি পরিমাণ তাপ বাহিরে পরিবাহিত হইবে ? কাচের পরিবাহিতাঙ্ক = ·002।

উঃ আমরা (7-2 a) সমীকরণে হইত জানি, $Q=\frac{KA(\theta_1-\theta_2)t}{d}$। এখানে $K=\cdot 002$, $A=100\times100=10^4$ বর্গ-সে.মি. ; $\theta_1-\theta_2=15-(-5)=20°C$, $t=3600$ সেকেণ্ড এবং $d=2$ মি. মি. = ·2 সে. মি.। এইগুলি উপরের সমীকরণে বসাইয়া সরল করিলে আমরা পাই $Q=72\times10^5$ ক্যালরি প্রতি ঘণ্টায়।

2. একটি লোক তাহার দেহটিকে 4 মি.মি. পুরু ফ্লানেল দ্বারা আবৃত করিয়া রাখিয়াছে। বাহিরের উষ্ণতা 15°C এবং মানুষের দেহের উষ্ণতা 35°C হইলে লোকটির দেহের এক বর্গ-মিটার তল হইতে ঘণ্টায় কি পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইবে ? ফ্লানেলের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক = ·00012।

[*Ans.* 216×10^3 ক্যালরি/ঘণ্টা]

3. একটি অ্যালুমিনিয়াম পাত্রে জল লইয়া অগ্নিশিখার উপর বসানো হইল। দেখা গেল পাত্রের তলদেশের এক বর্গ সেন্টিমিটার হইতে প্রতি দুই মিনিটে এক গ্রাম করিয়া জল বাষ্পীভূত হইতেছে। পাত্রের তলদেশ এক মিলিমিটার পুরু হইলে উহার যে তল অগ্নিশিখার সংস্পর্শে আছে তাহার উষ্ণতা কত হইবে ? জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ = 540 ক্যালরি প্রতি গ্রামে এবং অ্যালুমিনিয়ামের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক = ·5।

[*Ans.* $\theta_1=100{\cdot}9°C$]

সংকেত : (এখানে Q=540 ক্যালরি, $A=1$ বর্গ-সেন্টিমিটার, $d=1$ মি. মি. = ·1 সে. মি., $\theta_1-\theta_2=(\theta_1-100)°C$ এবং $K=\cdot5$। এইগুলি 1নং অঙ্কের সমীকরণে বসাইলে θ_1-এর মান নির্ণীত হইবে।)

4. একটি ধাতব দণ্ডের দৈর্ঘ্য 31·41 সে.মি. ব্যাস 4 সে.মি. এবং তাপ পরিবাহিতাঙ্ক ·9। এই দণ্ডের এক প্রান্ত স্টীমের মধ্যে এবং অপর প্রান্ত বরফের মধ্যে রাখিলে স্থিতিশীল অবস্থায় প্রতি মিনিটে কত বরফ গলিবে ? $\pi=3{\cdot}141$ লওয়া যাইতে পারে। বরফের লীনতাপ = 80 ক্যালরি/গ্রাম।

[*Ans.* 27 গ্রাম/মিনিটে]

5. একটি স্টীম-প্রকোষ্ঠের উপরতল একটি পাথরের প্লেট দ্বারা গঠিত যাহার দৈর্ঘ্য, প্রস্থ এবং বেধ (thickness) যথাক্রমে 60 সে.মি., 5 সে.মি. এবং 1 সে.মি.। এই পাথরের প্লেটের উপর বরফ জমা করিয়া রাখিয়া দিলে দেখা যায় যে, আধ ঘণ্টায় 5 কিলোগ্রাম বরফ গলিয়া জল হইতেছে। পাথরের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক নির্ণয় কর। বরফ গলনের লীন তাপ = 80 ক্যালরি প্রতি গ্রামে।

[*Ans.* ·0074 সি. জি. এস্. একক]

6. একটি 2 সে.মি. পুরু বরফের প্লেটের একতলের উষ্ণতা 0°C এবং অপরতলের উষ্ণতা —15°C। বরফের এক বর্গ-সেন্টিমিটার ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়া ঘণ্টায় কি পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হইবে ? বরফের তাপ পরিবাহিতাঙ্ক = ·00223 সি. জি. এস্. এককে।

[*Ans.* 40·14 ক্যালরি/ঘণ্টা]

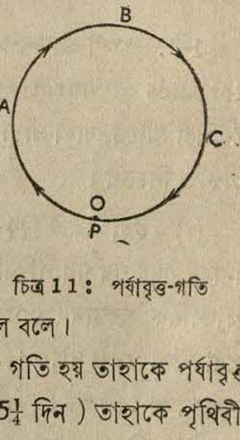
শব্দ-বিজ্ঞান (SOUND)

অধ্যায়
1

স্পন্দন ও তরঙ্গ (Vibration and Waves)

1·1. পর্যাবৃত্ত-গতি ও স্পন্দন-গতি (Periodic and Vibratory motion) :

(*a*) **পর্যাবৃত্ত-গতি ও পর্যায়কাল** (Periodic motion and Period) : যদি কোন গতিশীল কণা নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে একই পথ ($OABCO$) বার বার অতিক্রম করিয়া একই বিন্দুতে (O) ফিরিয়া আসে তাহা হইলে কণার ঐ গতিকে **পর্যাবৃত্ত-গতি** বলে [1.1 নং চিত্র]।

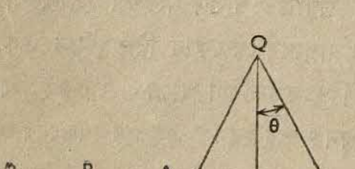


চিত্র 1.1 : পর্যাবৃত্ত-গতি

যে নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে, গতিশীল কণা একই পথ বার বার অতিক্রম করিয়া একই বিন্দুতে (O) ফিরিয়া আসে সেই সময়কে কণার পর্যাবৃত্ত-গতির **পর্যায়কাল** (T) বলে। 1.1 নং চিত্রে, P কণা O বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া পুনরায় O বিন্দুতে ফিরিয়া আসিতে যে সময় লয় তাহাকে P কণার পর্যায়কাল বলে।

উদাহরণ :—(*i*) সূর্যের চারিদিকে পৃথিবীর যে বার্ষিক গতি হয় তাহাকে পর্যাবৃত্ত-গতি বলে এবং এই বার্ষিক গতির জন্য যে সময় লাগে ($365\frac{1}{4}$ দিন) তাহাকে পৃথিবীর পর্যায়কাল বলে। (*ii*) আবার ঘড়ির মিনিটের কাঁটার যে গতি তাহাও পর্যাবৃত্ত-গতি এবং এই কাঁটার পর্যায়কাল এক ঘণ্টা।

(*b*) **স্পন্দন-গতি ও স্পন্দন-কাল** (Vibratory motion and Period of Vibration) : কোন কণা তাহার পর্যাবৃত্ত গতির সময়, যদি একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে উহার গতির দিক পরিবর্তন করে তাহা হইলে কণার ঐ গতিকে **স্পন্দন-গতি** বলে।



চিত্র 1.2 : স্পন্দন-গতি

মনে কর কোন কণা (P), B বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া A বিন্দুতে গেল এবং এখানে তাহার গতির দিক পরিবর্তন করিয়া পুনরায় A বিন্দু হইতে B বিন্দুতে একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে ফিরিয়া আসিল। কণার (P) এইরূপ গতিকে **স্পন্দন-গতি** বলে [1·2 নং চিত্রদ্বয় দেখ]।

যদি কোন স্পন্দনশীল কণা (P) তাহার গতিপথের কোনও এক স্থির বিন্দু (O) হইতে একটি নির্দিষ্ট দিকে (OA-এর দিকে) যাত্রা করিয়া ঐ দিকের A বিন্দু পর্যন্ত যায় এবং সেখান হইতে তাহার বিপরীতদিকের B বিন্দু পর্যন্ত যাইয়া পুনরায় ঐ একই বিন্দুতে (O বিন্দুতে) ফিরিয়া আসে এবং ঐ একই দিকে (OA-এর দিকে) পুনর্যাত্রা করিতে যায় তাহা হইলে কণাটির একটি **পূর্ণ স্পন্দন** হইল বলা হয়। কণার একটি পূর্ণ স্পন্দন হইতে যে সময় লাগে তাহাকে কণার **স্পন্দন-কাল** (T) বলে [1·2 নং চিত্রদ্বয় দেখ]।

উদাহরণ :—কোন দোলকের পিণ্ডের যে গতি হয় কিংবা কম্পনশীল স্বরশালাকার বাহুর কোন কণার যে গতি হয় তাহাকে স্পন্দন-গতি বলে এবং উহাদের একবার পূর্ণ স্পন্দন হইতে যে সময় লাগে তাহাকে **স্পন্দন-কাল** বলে।

1-2. স্পন্দন-গতি বা দোলগতির বৈশিষ্ট্য (Characteristics of vibratory or oscillatory motion) : স্পন্দন-গতির কয়েকটি বৈশিষ্ট্য আছে, যাহা দ্বারা অন্যান্য গতি হইতে ইহার পার্থক্য ধরা যায়। বৈশিষ্ট্যগুলির প্রকৃতি নিম্নরূপ :

(*i*) ইহা একটি দিক্‌-পরিবর্তনশীল গতি এবং এই গতির দিক্ বা অভিমুখ একটি নির্দিষ্ট সময় পর পর পরিবর্তিত হইয়া থাকে। (*ii*) এই প্রকার গতিসম্পন্ন কণার একটি স্বাভাবিক অবস্থান (normal position) থাকে, যে স্থানে উহার গতির পরিমাণ সর্বাপেক্ষা বেশী থাকে। অর্থাৎ এই স্বাভাবিক অবস্থানে স্পন্দনশীল কণার গতিশক্তি সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। (*iii*) স্পন্দনশীল কণার স্বাভাবিক অবস্থানের উভয় পার্শ্বেই একটি করিয়া অবস্থান থাকে যেখানে কণা সাময়িকভাবে স্থির থাকে। অর্থাৎ এই দুই সাময়িক স্থির অবস্থানে কণার গতিশক্তি শূন্য হয় কিন্তু স্থিতিশক্তি সর্বাপেক্ষা বেশী হয়। (*iv*) স্পন্দন-গতিতে, কণার শক্তি অনবরত গতিশক্তি হইতে (স্বাভাবিক অবস্থানে) স্থিতিশক্তিতে (সাময়িক স্থির অবস্থানে) এবং পুনরায় স্থিতিশক্তি হইতে গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হইতেছে এবং এই রূপান্তর শক্তির সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী হইয়া থাকে। (*v*) স্পন্দনশীল কণা তাহার যাত্রাপথের যে-কোন বিন্দু হইতে একটি নির্দিষ্ট দিকে যাত্রা করিয়া পুনরায় যখন ঐ বিন্দুতে ফিরিয়া আসে এবং একই দিকে যাত্রা করিতে যায় তখন কণার একটি পূর্ণ-স্পন্দন সম্পন্ন হয়। এই পূর্ণ-স্পন্দনের জন্য একটি নির্দিষ্ট সময় লাগে যাহাকে দোলন-কাল বা **স্পন্দন-কাল** বলে। (*vi*) স্পন্দনশীল কণা যখন তাহার স্বাভাবিক অবস্থান হইতে যে-কোন দিকের সাময়িক স্থির অবস্থানে যায় তখন তাহার যে সর্বোচ্চ রৈখিক কিংবা কৌণিক সরণ হয় তাহাকে স্পন্দনের **বিস্তার** বলা হয়।

1-3. সরল দোল-গতি (Simple Harmonic Motion, সংক্ষেপে S.H.M.) **:** যদি কোন কণার (P) স্পন্দনগতি (i) একটি সরলরেখার উপর (AB-এর উপর) এমনভাবে হয় যে (ii) উহার উপর ক্রিয়াশীল ত্বরণ (বা বল) কণার গতিপথের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুর অভিমুখে (O বিন্দুর অভিমুখে) সর্বদা ক্রিয়া করে এবং (iii) ঐ ক্রিয়াশীল ত্বরণের (বা বলের) পরিমাণ, সেই নির্দিষ্ট বিন্দু (O) হইতে কণার সরণের সমানুপাতিক হয় তাহা হইলে কণার ঐ গতিকে **সরল দোল-গতি** বলে [1.2 (a) নং চিত্র দেখ]।

উদাহরণ : (i) স্বর শলাকার বাহুর যখন কম্পন হয় তখন উহার যে-কোন বাহুর কণাগুলির যে গতি হয় তাহা সরল দোল-গতির শর্তগুলি মানিয়া চলে। এজন্য কম্পনশীল শলাকার বাহুর কণাগুলির গতি সরল দোলগতি হইবে। (ii) আবার 1.2 (b) নং চিত্রে দোলকের যে গতি দেখান হইয়াছে তাহাতে যদি দোলকের দৈর্ঘ্য QO খুব বেশী হয় এবং কৌণিক বিস্তার θ খুব কম হয় তাহা হইলে দোলকের গতি সরল দোল-গতির শর্তগুলি মানিয়া চলিবে। কাজেই দোলকের গতিকে সরল দোল-গতি বলে [সাধারণ পদার্থ-বিজ্ঞানের 7-15 পরিচ্ছেদ দেখ]।

1-4. বৃত্তাকার গতির সহিত সরল দোল-গতির সম্বন্ধ (Relation of S.H.M. with Circular motion) : যখন কোন কণা একটি বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে ঘুরিতে থাকে, তখন ঐ ঘূর্ণমান কণার বিভিন্ন অবস্থান হইতে বৃত্তের যে-কোন একটি ব্যাসের উপর লম্ব টানিলে, ঐ ব্যাস বরাবর লম্বের পাদ-বিন্দুর যে গতি হইবে তাহাকেই **সরল দোল-গতি** বলে, কারণ এই গতি সরল দোল-গতির শর্তগুলি পূরণ করে যাহার প্রমাণ নিম্নে দেওয়া হইল।

প্রমাণ : (i) মনে কর কোন কণা (P), OX ($=a$) ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের X বিন্দু হইতে যাত্রা করিয়া বৃত্তের পরিধির উপর বামাবর্তী হইয়া সমদ্রুতিতে ঘুরিতেছে এবং বৃত্তের পরিধিকে একবার আবর্তন করিতে T সেকেণ্ড সময় লইতেছে [1.3 নং চিত্র]। ঘূর্ণমান কণার বিভিন্ন অবস্থানে উহার বেগের পরিমাণ এক থাকিলেও, উহা হইতে বৃত্তের YY' ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্বের (PN-এর) পাদ-বিন্দুর (N-বিন্দুর) যে গতি হইবে তাহার বেগের পরিমাণ YY'-এর বিভিন্ন স্থানে বিভিন্ন হইবে। YY' ব্যাসের দুই প্রান্তে N বিন্দুর বেগ শূন্য হইবে এবং মধ্যবিন্দু O-তে উহার বেগ সর্বাপেক্ষা বেশী হইবে। N বিন্দুর গতি YY' সরলরেখায় হইতেছে যাহা সরল দোলগতির একটি শর্ত।

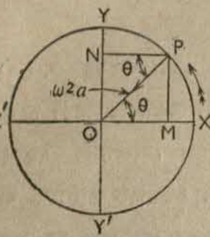
(ii) যদি t সেকেণ্ড সময়ে, ঘূর্ণমান কণা বৃত্তের X বিন্দু হইতে P বিন্দুতে যাইয়া বৃত্তের কেন্দ্রে θ কোণ উৎপন্ন করে তাহা হইলে $\theta=\omega t=2\pi t/T$। এখানে $\omega=2\pi/T=$ ঘূর্ণমান কণার কৌণিক বেগ। এই t সেকেণ্ড সময়ে, ঘূর্ণমান কণা

হইতে YY' ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দুর যে সরণ হইবে তাহার পরিমাণ

$y = a \sin \omega t.$ ... ...(1-4a)

N বিন্দুর YY' সরলরেখার উপর যে গতি হইতেছে তাহার সরণ (y) সময়ের (t) সহিত যেভাবে পরিবর্তিত হইতেছে তাহা (1-4a) সমীকরণ দ্বারা প্রকাশিত হইবে।

(*iii*) আমরা জানি যে, যখন কোন কণা a ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে ω পরিমাণ স্থির কৌণিক বেগে ঘুরিতে থাকে তখন উহার উপর $\omega^2 a$ পরিমাণ ত্বরণ সর্বদা বৃত্তের কেন্দ্রের দিকে ক্রিয়া করে [সাধারণ বিজ্ঞানের 8-5 পরিচ্ছেদের (8-5c) সমীকরণ দেখ]। ঘূর্ণমান কণা যখন P স্থানে গেল তখন উহার উপর ক্রিয়াশীল ত্বরণ (যাহার পরিমাণ $\omega^2 a$) PO-এর দিকে ক্রিয়া করিবে এবং এই ত্বরণের যে উপাংশ OY-এর দিকে থাকিবে তাহাই N বিন্দুর গতির ত্বরণ হইবে। ঘূর্ণমান কণার ত্বরণের যে উপাংশ PM-এর দিকে অর্থাৎ YO-এর দিকে ক্রিয়া করিতেছে তাহার পরিমাণ হইতেছে $\omega^2 a \sin \theta$। কাজেই OY-এর দিকে ত্বরণের ক্রিয়াশীল উপাংশ হইবে $f = -\omega^2 a \sin \theta$; অথবা,



চিত্র 1.3 : বৃত্তাকার গতির সহিত সরল দোল-গতির সম্বন্ধ

$f = -\omega^2 y$ [(1-4a) সমীকরণ হইতে] ...(1-4b)

অতএব বৃত্তপথে ঘূর্ণমান কণা হইতে বৃত্তের ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্বের পাদবিন্দুর ত্বরণ $(=f)$ উহার গতির বিপরীত দিকে হইতেছে এবং ঐ ত্বরণ $(=f)$ পাদবিন্দুর সরণের $(=y=ON)$ সমানুপাতিক হইতেছে। ইহার দ্বারা প্রমাণিত হইল যে বৃত্তাকার পথে ঘূর্ণমান কণা হইতে বৃত্তের YY' ব্যাসের উপর লম্ব টানিলে ঐ লম্বের পাদবিন্দুর যে গতি হইতেছে তাহা সরল দোল-গতির সব কয়টি শর্তই পালন করিতেছে, কাজেই লম্বের পাদবিন্দুর গতি সরল দোল-গতি হইবে।

সরল দোল-গতির সহিত ঘূর্ণন গতির সম্বন্ধ প্রকাশ করিবার পদ্ধতি : উপরের আলোচনা হইতে জানা গেল যে, কোন সরল দোল-গতির সহিত ঘূর্ণন-গতির সম্বন্ধ প্রকাশ করিতে হইলে, (*i*) একটি বৃত্ত অঙ্কন করিতে হইবে যাহার ব্যাসার্ধ সরল দোল-গতির বিস্তার হইবে এবং (*ii*) ঐ বৃত্তের পরিধির উপর একটি কণাকে সমদ্রুতিতে ঘুরাইতে হইবে যাহার পর্যায়কাল এবং সরল দোল-গতির পর্যায়কাল সমান। এক্ষণে বৃত্তপথে ঘূর্ণমান কণা হইতে বৃত্তের যে কোন ব্যাসের উপর লম্ব টানিলে ঐ লম্বের পাদবিন্দুর যে গতি হইবে তাহাই নির্দিষ্ট সরল দোল-গতি হইবে। যে বৃত্তের সাহায্যে সরল দোল-গতিকে সম্যকরূপে জানা যায় তাহাকে **সাহায্যকারী বৃত্ত** (auxiliary circle) কিংবা **প্রাসঙ্গিক বৃত্ত** (reference circle) বলে।

1-5. সরল দোল-গতি সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির ব্যাখ্যা (Explanation of some terms relating to S. H. M.) :

(a) **বিস্তার** (Amplitude—a) :—কোন কম্পনশীল কণার স্থির অবস্থান হইতে দুই দিকের যে-কোন দিকের সর্বোচ্চ সরণকে [রৈখিক কিংবা কৌণিক সরণকে] কণার **বিস্তার** বলে। 1.2 নং চিত্রে O বিন্দু কণার স্থির অবস্থান এবং এই O বিন্দু হইতে যে-কোন দিকে কণার যে সর্বোচ্চ রৈখিক সরণ (OA কিংবা OB) হইবে [1.2 (a) নং চিত্র দেখ] কিংবা সর্বোচ্চ কৌণিক সরণ (θ) হইবে [1.2 (b) নং চিত্র দেখ] তাহাকে কণার **বিস্তার** বলে।

(b) **কম্পনকাল** (Period—T) :—সরল গতিসম্পন্ন কোন কণা, তাহার সঞ্চরণ পথের কোন নির্দিষ্ট বিন্দুকে **পর পর দুইবার একই দিকে** অতিক্রম করিতে যে সময় লয় সেই সময়কে কণার **কম্পনকাল** বলে।

কম্পনশীল কণা (P), তাহার সঞ্চরণ পথের (AB) নির্দিষ্ট বিন্দু O-কে পর পর দুইবার একই দিকে (ধরা যাক্ OA-এর দিকে) অতিক্রম করিতে যদি T সেকেণ্ড সময় লয় তাহা হইলে কম্পনশীল কণার কম্পনকাল T হইবে [1.2 (a) নং চিত্র দেখ]।

(c) **কম্পাঙ্ক** (Frequency—n) :—কোন কম্পনশীল কণার এক সেকেণ্ডে যত সংখ্যক পূর্ণ কম্পন হয় সেই সংখ্যাকে উহার **কম্পাঙ্ক** বলে।

যদি কম্পনশীল কণার কম্পনকাল T সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে এই T সেকেণ্ডে কণার একটি পূর্ণ কম্পন হইবে। সুতরাং এক সেকেণ্ডে কণার যত সংখ্যক পূর্ণ কম্পন হইবে সেই সংখ্যা হইবে $n=1/T$ এবং এই সংখ্যাই কণার কম্পাঙ্ক হইবে।

অতএব $n=1/T$; অথবা, $nT=1$ ...(1-5a)

(d) **দশা** (Phase) :—যাহা দ্বারা সরল দোল-গতি সম্পন্ন কণার যে-কোন মুহূর্তের সরণের অবস্থা এবং গতির অভিমুখ স্থির করা যায় তাহাকে ঐ মুহূর্তের জন্য কণার **দশা** বলে।

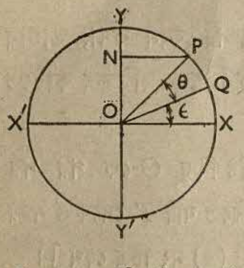
কোন কম্পনশীল কণার যে-কোন মুহূর্তের দশা, তাহার সাম্য অবস্থা হইতে সরণের পরিমাণ দ্বারা কিংবা অতিক্রান্ত সময় দ্বারা কিংবা অঙ্কিত কোণ দ্বারা মাপা হয়। সাধারণতঃ কণার যে-কোন মুহূর্তের দশা, তাহার প্রকৃত সরণ কিংবা অতিক্রান্ত সময় দ্বারা না মাপিয়া উহার বিস্তারের কিংবা কম্পনকালের ভগ্নাংশ দ্বারা স্থির করা হয়। আবার সরল দোলগতি সম্পন্ন কণার যে-কোন মুহূর্তের দশা যখন কোণ দ্বারা স্থির করিতে হয় তখন ঐ মুহূর্তে উহার সাহায্যকারী বৃত্তে সমক্রতিতে ঘূর্ণমান কণা কেন্দ্রে যে কোণ অঙ্কিত করিবে তাহা দ্বারা স্থির করা হয়।

1·4 নং চিত্রে, YY' সরলরেখার উপর N কণার যে সরল দোল-গতি হইতেছে তাহাতে কণাটি যখন O হইতে Y বিন্দুতে পৌঁছিবে, সেই মুহূর্তে উহার দশা হইবে,

(i) $OY=a$[কণার বিস্তার a দ্বারা প্রকাশিত হইল] কিংবা (ii) $T/4$ [কণার কম্পনকালের (T) এক চতুর্থাংশ দ্বারা প্রকাশিত হইল] কিংবা (iii) $\pi/2$ অথবা 90° [সাহায্যকারী বৃত্তে ঘূর্ণমান কণার দশার দ্বারা প্রকাশিত হইল]।

(*e*) **আদি-দশা** (Epoch) :—কণার গতির প্রারম্ভে যদি উহার কোন দশা থাকে তাহা হইলে তাহাকে **আদি-দশা** বলে।

সাহায্যকারী বৃত্তে, ঘূর্ণমান কণা তাহার নির্দিষ্ট বিন্দু X হইতে যাত্রা না করিয়া যদি Q বিন্দু হইতে যাত্রা করে তাহা হইলে $\angle XOQ=\epsilon$ কোণ ঘূর্ণমান কণার এবং উহার সহিত জড়িত সরল দোল-গতি সম্পন্ন কণারও **আদি-দশা** হইবে [1.4 নং চিত্র]।



চিত্র 1.4 : আদিদশাযুক্ত সরল দোল-গতি

ঘূর্ণমান কণা যদি ω কৌণিক বেগে Q হইতে P বিন্দুতে t সেকেণ্ডে যায় তাহা হইলে এই t সেকেণ্ডে উহার দ্বারা বৃত্তের কেন্দ্রে অঙ্কিত কোণ হইবে $\theta=\omega t$। কাজেই t সেকেণ্ডে ঘূর্ণমান কণার মোট দশা হইবে $(\omega t+\epsilon)$ এবং উহার সহিত জড়িত সরল দোলগতি সম্পন্নকারী কণা যখন YY' সরলরেখার উপর N বিন্দুতে আসিবে তখন তাহারও দশা হইবে $(\omega t+\epsilon)$। এই t সেকেণ্ড সময়ে N বিন্দুর সরণ (যাহা নির্দিষ্ট বিন্দু O হইতে স্থির করা হয়) হইবে

$$y=a\sin(\omega t+\epsilon) \qquad \ldots(1\text{-}5b)$$

(1-5*b*) সমীকরণ, সাধারণভাবে সরল দোলগতির সরণ এবং গতির অভিমুখ স্থির করে।

(*f*) **সমদশা ও বিপরীত দশা** (Same phase and opposite phase) :— মনে কর একটি সাহায্যকারী বৃত্তের YY' ব্যাসের উপর দুইটি কণার সরল দোল-গতি হইতেছে যাহাদের উভয়েরই বিস্তার a এবং পর্যায়কাল T। যদি সাহায্যকারী বৃত্তের ঘূর্ণমান কণার কৌণিক বেগ ω হয় তাহা হইলে $\omega=2\pi/T$; অথবা, $T=2\pi/\omega$। যদি প্রথম কণাটির আদি দশা শূন্য থাকে এবং দ্বিতীয় কণাটির আদি দশা δ থাকে তাহা হইলে t সেকেণ্ডে প্রথম ও দ্বিতীয় কণার সরণ যথাক্রমে হইবে,

$$y=a\sin\omega t\ ;\ y'=a\sin(\omega t+\delta) \qquad \cdots(1\text{-}5c)$$

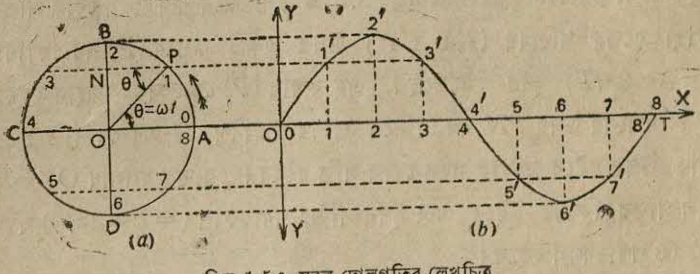
যদি $\delta=2n\pi$ হয় [$n=0, 1, 2, 3,$ ইত্যাদি] তাহা হইলে $y'=a\sin(\omega t+2n\pi)$ অথবা $y'=a\sin\omega t$ [কারণ কোন কোণের মান 2π কিংবা তাহার সরল গুণিতক (n) দ্বারা বৃদ্ধি করিলে ঐ সব কোণের sin-এর মান এবং চিহ্ন অপরিবর্তিত থাকে]। অতএব **দুইটি কণার সরল দোলগতি সমদশায় থাকিবে যখন উহাদের মধ্যের দশার পার্থক্য π-এর সরল যুগ্ম গুণিতক থাকে।**

আবার যদি $\delta=(2n+1)\pi$ হয় [$n=0, 1, 2, 3, \cdots$ইত্যাদি] তাহা হইলে $y'=a \sin \{\omega t+(2n+1)\pi\}=-a \sin \omega t$ [কারণ কোন কোণের মান π-এর সরল অযুগ্ম গুণিতক (3π, 5π, প্রভৃতি) দ্বারা বৃদ্ধি করিলে উহার sin-এর মান অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু চিহ্ন বিপরীত হয়]। অতএব **দুইটি কণার সরল দোল-গতি বিপরীত দশায় থাকিবে যখন উহাদের মধ্যের দশার পার্থক্য π-এর সরল অযুগ্ম গুণিতক থাকে।**

1-6. লেখচিত্র ও সমীকরণ দ্বারা সরল দোল-গতির প্রকাশ (Graphical and Mathematical representations of S.H.M.) ঃ

(*a*) **লেখচিত্রের দ্বারা সরল দোলগতির প্রকাশ** :—বিভিন্ন সময়ে সরল দোলগতির যে সরণ ($=y$) হয় সেই সরণ y-অক্ষের দিকে এবং যে সময়ে ($=t$) ঐ সরণ হইল তাহা x-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিয়া যদি একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তাহা হইলে সেই লেখর প্রকৃতি 1·5(*b*) চিত্রের অনুরূপ হইবে।

মনে কর P কণাকে সরল দোলগতির সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধির ($ABCD$) উপর সম-কৌণিকবেগে ($=\omega=2\pi/T$) বামাবর্তীভাবে ঘুরানো হইতেছে। P হইতে বৃত্তের BD ব্যাসের উপর PN লম্ব টানিলে ঐ লম্বের পাদবিন্দু N-এর যে গতি BD ব্যাস বরাবর হইবে তাহা N-বিন্দুর সরল দোলগতি হইবে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ OB ($=a$) সরল দোল-গতির বিস্তার হইবে এবং ঘূর্ণমান কণার (P-এর) পর্যায়কাল T ($T=2\pi/\omega$) সরল দোল-গতিরও পর্যায় কাল হইবে [1.5 (*a*) নং চিত্র দেখ]।



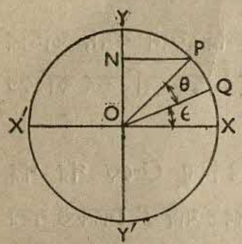
চিত্র 1.5 : সরল দোলগতির লেখচিত্র

বৃত্তের অনুভূমিক ব্যাস CA-কে OX পর্যন্ত বর্ধিত করিয়া উহার OT অংশ দ্বারা সরল দোল-গতির পর্যায়কাল ($=T$) প্রকাশ করা হইল। এই OT দৈর্ঘ্যকে 0,1,2, 3,⋯8 প্রভৃতি বিন্দু দ্বারা সমান আট ভাগে ভাগ করা হইল যাহাতে প্রত্যেক ভাগ $T/8$ সময় নির্দেশ করিতে পারে। আবার সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধি $ABCD$-কেও 0, 1, 2, 3,⋯8 প্রভৃতি বিন্দু দ্বারা সমান আট-ভাগে ভাগ করা হইল যাহাতে ঘূর্ণমান কণা ইহার প্রত্যেক ভাগকে $T/8$ সময়ে অতিক্রম করিতে পারে।

(i) $OY=a$[কণার বিস্তার a দ্বারা প্রকাশিত হইল] কিংবা (ii) $T/4$ [কণার কম্পনকালের (T) এক চতুর্থাংশ দ্বারা প্রকাশিত হইল] কিংবা (iii) $\pi/2$ অথবা 90° [সাহায্যকারী বৃত্তে ঘূর্ণমান কণার দশার দ্বারা প্রকাশিত হইল]।

(*e*) **আদি-দশা** (Epoch) :—কণার গতির প্রারম্ভে যদি উহার কোন দশা থাকে তাহা হইলে তাহাকে **আদি-দশা** বলে।

সাহায্যকারী বৃত্তে, ঘূর্ণমান কণা তাহার নির্দিষ্ট বিন্দু X হইতে যাত্রা না করিয়া যদি Q বিন্দু হইতে যাত্রা করে তাহা হইলে $\angle XOQ=\epsilon$ কোণ ঘূর্ণমান কণার এবং উহার সহিত জড়িত সরল দোল-গতি সম্পন্ন কণারও **আদি-দশা** হইবে [1.4 নং চিত্র]।



চিত্র 1.4 : আদিদশাযুক্ত সরল দোল-গতি

ঘূর্ণমান কণা যদি ω কৌণিক বেগে Q হইতে P বিন্দুতে t সেকেণ্ডে যায় তাহা হইলে এই t সেকেণ্ডে উহার দ্বারা বৃত্তের কেন্দ্রে অঙ্কিত কোণ হইবে $\theta=\omega t$। কাজেই t সেকেণ্ডে ঘূর্ণমান কণার মোট দশা হইবে $(\omega t+\epsilon)$ এবং উহার সহিত জড়িত সরল দোলগতি সম্পন্নকারী কণা যখন YY' সরলরেখার উপর N বিন্দুতে আসিবে তখন তাহারও দশা হইবে $(\omega t+\epsilon)$। এই t সেকেণ্ড সময়ে N বিন্দুর সরণ (যাহা নির্দিষ্ট বিন্দু O হইতে স্থির করা হয়) হইবে

$$y=a \sin (\omega t+\epsilon) \qquad \ldots(1\text{-}5b)$$

(1-5*b*) সমীকরণ, সাধারণভাবে সরল দোলগতির সরণ এবং গতির অভিমুখ স্থির করে।

(*f*) **সমদশা ও বিপরীত দশা** (Same phase and opposite phase) :— মনে কর একটি সাহায্যকারী বৃত্তের YY' ব্যাসের উপর দুইটি কণার সরল দোল-গতি হইতেছে যাহাদের উভয়েরই বিস্তার a এবং পর্যায়কাল T। যদি সাহায্যকারী বৃত্তের ঘূর্ণমান কণার কৌণিক বেগ ω হয় তাহা হইলে $\omega=2\pi/T$; অথবা, $T=2\pi/\omega$। যদি প্রথম কণাটির আদি দশা শূন্য থাকে এবং দ্বিতীয় কণাটির আদি দশা δ থাকে তাহা হইলে t সেকেণ্ডে প্রথম ও দ্বিতীয় কণার সরণ যথাক্রমে হইবে,

$$y=a \sin \omega t \; ; \; y'=a \sin (\omega t+\delta) \qquad \cdots(1\text{-}5c)$$

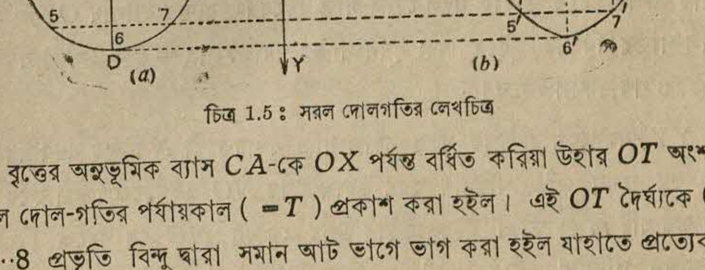
যদি $\delta=2n\pi$ হয় [$n=0, 1, 2, 3,$ ইত্যাদি] তাহা হইলে $y'=a \sin (\omega t+2n\pi)$ অথবা $y'=a \sin \omega t$ [কারণ কোন কোণের মান 2π কিংবা তাহার সরল গুণিতক (n) দ্বারা বৃদ্ধি করিলে ঐ সব কোণের sin-এর মান এবং চিহ্ন অপরিবর্তিত থাকে]। অতএব **দুইটি কণার সরল দোলগতি সমদশায় থাকিবে যখন উহাদের মধ্যের দশার পার্থক্য π-এর সরল যুগ্ম গুণিতক থাকে।**

আবার যদি $\delta=(2n+1)\pi$ হয় [$n=0, 1, 2, 3, \cdots$ ইত্যাদি] তাহা হইলে $y'=a \sin \{\omega t+(2n+1)\pi\}=-a \sin \omega t$ [কারণ কোন কোণের মান π-এর সরল অযুগ্ম গুণিতক (3π, 5π, প্রভৃতি) দ্বারা বৃদ্ধি করিলে উহার sin-এর মান অপরিবর্তিত থাকে কিন্তু চিহ্ন বিপরীত হয়]। অতএব **দুইটি কণার সরল দোল-গতি বিপরীত দশায় থাকিবে যখন উহাদের মধ্যের দশার পার্থক্য π-এর সরল অযুগ্ম গুণিতক থাকে।**

1-6. লেখচিত্র ও সমীকরণ দ্বারা সরল দোল-গতির প্রকাশ (Graphical and Mathematical representations of S.H.M.) ঃ

(*a*) **লেখচিত্রের দ্বারা সরল দোলগতির প্রকাশ** :—বিভিন্ন সময়ে সরল দোলগতির যে সরণ ($=y$) হয় সেই সরণ y-অক্ষের দিকে এবং যে সময়ে ($=t$) ঐ সরণ হইল তাহা x-অক্ষের দিকে প্রকাশ করিয়া যদি একটি লেখচিত্র অঙ্কন করা যায় তাহা হইলে সেই লেখর প্রকৃতি 1·5(*b*) চিত্রের অনুরূপ হইবে।

মনে কর P কণাকে সরল দোলগতির সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধির ($ABCD$) উপর সম-কৌণিকবেগে ($=\omega=2\pi/T$) বামাবর্তীভাবে ঘুরানো হইতেছে। P হইতে বৃত্তের BD ব্যাসের উপর PN লম্ব টানিলে ঐ লম্বের পাদবিন্দু N-এর যে গতি BD ব্যাস বরাবর হইবে তাহা N-বিন্দুর সরল দোলগতি হইবে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ OB ($=a$) সরল দোল-গতির বিস্তার হইবে এবং ঘূর্ণমান কণার (P-এর) পর্যায়কাল T ($T=2\pi/\omega$) সরল দোল-গতিরও পর্যায় কাল হইবে [1.5 (*a*) নং চিত্র দেখ]।



চিত্র 1.5 ঃ সরল দোলগতির লেখচিত্র

বৃত্তের অনুভূমিক ব্যাস CA-কে OX পর্যন্ত বর্ধিত করিয়া উহার OT অংশ দ্বারা সরল দোল-গতির পর্যায়কাল ($=T$) প্রকাশ করা হইল। এই OT দৈর্ঘ্যকে 0,1,2, 3,⋯8 প্রভৃতি বিন্দু দ্বারা সমান আট ভাগে ভাগ করা হইল যাহাতে প্রত্যেক ভাগ $T/8$ সময় নির্দেশ করিতে পারে। আবার সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধি $ABCD$-কেও 0, 1, 2, 3,⋯8 প্রভৃতি বিন্দু দ্বারা সমান আট-ভাগে ভাগ করা হইল যাহাতে ঘূর্ণমান কণা ইহার প্রত্যেক ভাগকে $T/8$ সময়ে অতিক্রম করিতে পারে।

এক্ষণে সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধির উপরিস্থিত 0, 1, 2, 3,…8 প্রভৃতি বিন্দু হইতে অনুভূমিক সরলরেখা টানা হইল, যাহাতে এই অনুভূমিক রেখাগুলি যথাক্রমে OT সরলরেখার 0, 1, 2, 3,…8 প্রভৃতি হইতে অঙ্কিত উল্লম্ব সরল রেখাকে 0, 1′, 2′, 3′,…8′ প্রভৃতি বিন্দুতে ছেদ করিতে পারে। এই 0, 1′, 2′, 3′,…8′ প্রভৃতি বিন্দুগুলিকে বক্ররেখা দ্বারা যুক্ত করিলে যে রেখা পাওয়া যাইবে তাহাই N বিন্দুর সরল দোল-গতির লেখচিত্র হইবে। এই লেখচিত্রের প্রকৃতি কোন কোণের সাইনের (sine) লেখচিত্রের প্রকৃতির অনুরূপ [1.5 (*b*) নং চিত্র দেখ]।

(*b*) **গতি-সমীকরণ দ্বারা দোল-গতির প্রকাশ** :—সরল দোল-গতির সাহায্যকারী বৃত্তের ($ABCD$) পরিধির উপর যখন ঘূর্ণমান কণা A হইতে P বিন্দুতে t সেকেণ্ডে যায় তখন উহা হইতে BD ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্ব PN-এর পাদবিন্দু, O হইতে N পর্যন্ত যায় [1.5 (*a*) নং চিত্র দেখ] যেহেতু N বিন্দুর গতি সরল দোল-গতি সেই হেতু t সেকেণ্ডে সরল দোল-গতির সরণ হইবে,

$$y = ON = a \sin \omega t \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots \qquad \cdots (1\text{-}6a)$$

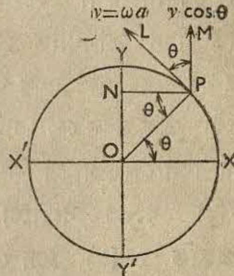
(1-6*a*) সমীকরণ, বিভিন্ন সময়ে (t) সরল দোল-গতির সরণ ($=y$) প্রকাশ করিতেছে এবং ঐ দোল-গতির বিস্তার a। কাজেই (1-6*a*) সমীকরণ সরল দোল-গতির গতি-সমীকরণ হইবে [ইহার বিশেষ বিবরণ 1-4 পরিচ্ছেদে দেওয়া হইয়াছে, যাহা (1-4*a*) সমীকরণে শেষ হইয়াছে]।

1-7. সরল দোল-গতি সম্পন্নকারী কণার শক্তি (Energy of a particle executing S.H.M.) ঃ মনে কর সরল দোল-গতির সাহায্যকারী বৃত্তের পরিধির ($XYX'Y'$) উপর একটি কণার (P) সম-কৌণিক বেগে ($=\omega=2\pi/T$) ঘূর্ণন হইতেছে। এই কণার (P) যে-কোন অবস্থান হইতে বৃত্তের YY' ব্যাসের উপর PN লম্ব টানিলে তাহার পাদবিন্দু N-এর যে গতি YY' সরলরেখার উপর হইবে তাহাই সরল দোল-গতি হইবে। বৃত্তের ব্যাসার্ধ $OY=a$, সরল দোল-গতির বিস্তার হইবে এবং ঘূর্ণন-গতির পর্যায়কাল ($=T=2\pi/\omega$) সরল দোল-গতিরও পর্যায়কাল হইবে।

(*i*) YY'-সরলরেখার উপর সরল দোল-গতি সম্পন্নকারী N বিন্দুর সরণ যখন $ON=y$ হয় তখন $\omega^2 y$ পরিমাণ ত্বরণ উহার উপর NO-এর দিকে ক্রিয়া করে। N কণার ভর যদি m হয় তাহা হইলে উহার উপর যে বল NO-এর দিকে ক্রিয়া করিবে তাহার পরিমাণ হইবে $m\omega^2 y$। কিন্তু N-কণা যখন O-তে ছিল তখন উহার উপর কোন ত্বরণ বা বল ছিল না। কাজেই N কণার সরণ যখন শূন্য হইতে (O-তে) y পর্যন্ত বৃদ্ধি পাইল তখন উহার উপর যে বল NO-এর দিকে ক্রিয়া

করিল তাহার গড় পরিমাণ হইবে $\frac{1}{2}m\omega^2 y$। N-কণা, এই বলের বিরুদ্ধে যে কার্য করিল তাহাই উহাতে স্থিতিশক্তিরূপে সঞ্চিত থাকিবে। কাজেই N কণার সরণ যখন $y\ (=ON)$ তখন উহার **স্থিতিশক্তি** $P=\frac{1}{2}m\omega^2 y^2$ ... (1-7a).

কণার সর্বোচ্চ সরণ $y=OY=a=$উহার বিস্তার ; এই স্থানে উহার সর্বোচ্চ স্থিতিশক্তি হইবে $\frac{1}{2}m\omega^2 a^2$। আবার কণার সরণ যখন $y=0$, তখন স্থিতিশক্তিও শূন্য হইবে। অর্থাৎ সরল দোলগতির সময় কণা যখন তাহার গতিপথের দুই প্রান্তের সাময়িক স্থির বিন্দুতে যায় তখন উহার স্থিতিশক্তি সর্বোচ্চ হয় এবং যখন গতিপথের মধ্যবিন্দু (O) অতিক্রম করে তখন স্থিতিশক্তি শূন্য হয়।



চিত্র 1.6 : সরল দোল-গতির গতিশক্তি

(ii) ঘূর্ণমান কণা যখন P বিন্দুতে আসে তখন তাহার বেগ $v=\omega a$ বৃত্তের স্পর্শক PL-এর দিকে থাকে [1.6 নং চিত্র]। এই বেগের যে উপাংশ $PM=v\cos\theta$, N কণার গতিপথ YY'-এর সমান্তরালে আছে, তাহাই সরল দোল-গতি সম্পন্নকারী N কণার বেগ হইবে। সুতরাং N বিন্দুর বেগ হইবে $u=v\cos\theta$। কাজেই সরল দোল-গতি সম্পন্নকারী কণার সরণ যখন $ON=y$ তখন তাহার গতি শক্তি হইবে

$$K=\frac{1}{2}mu^2=\frac{1}{2}mv^2\cos^2\theta=\frac{1}{2}m\omega^2a^2(1-\sin^2\theta)$$

অথবা, $$K=\frac{1}{2}m\omega^2a^2\left(1-\frac{y^2}{a^2}\right)=\frac{1}{2}m\omega^2(a^2-y^2) \qquad \cdots \quad (1\text{-}7b)$$

[$\because$ $v=\omega a$ এবং $y=a\sin\omega t=a\sin\theta$ (1·6a) সমীকরণ দেখ]।

সুতরাং, সরল দোল-গতি সম্পন্নকারী কোন কণার সরণ যখন y তখন তাহার মোট শক্তি $E=$ স্থিতিশক্তি $(P)+$ গতিশক্তি (K) ; অথবা,

$$E=\frac{1}{2}m\omega^2y^2+\frac{1}{2}m\omega^2(a^2-y^2)=\frac{1}{2}m\omega^2a^2=\text{ধ্রুবক} \qquad \cdots \quad (1\text{-}7c)$$

(1-7a), (1-7b) ও (1-7c) সমীকরণ তিনটি হইতে যে সিদ্ধান্তে আসা যায় তাহা হইল—(1) যখন কণার সরণ $y=a$ (সর্বোচ্চ), তখন গতিশক্তি $K=0$; স্থিতিশক্তি $P=\frac{1}{2}m\omega^2a^2$ (সর্বোচ্চ)$=$মোট শক্তি E।

(2) যখন কণার সরণ $y=0$, তখন স্থিতিশক্তি $P=0$, গতিশক্তি $K=\frac{1}{2}m\omega^2a^2$ (সর্বোচ্চ)$=$ মোট শক্তি E।

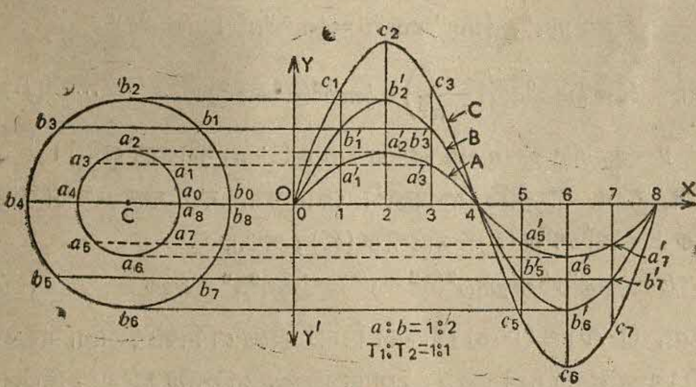
কাজেই, সরল দোল-গতি সম্পন্ন কণার গতিপথের সর্বস্থানে মোটশক্তি একই থাকিতেছে, যদিও উহা স্থিতিশক্তি হইতে গতিশক্তি এবং গতিশক্তি হইতে স্থিতি-

শক্তিতে অনবরত রূপান্তরিত হইতেছে। অতএব, **সরল দোল-গতি সম্পন্ন কণার গতি, শক্তি-সংরক্ষণ সূত্র অনুযায়ী হইয়া থাকে।**

1-8. একই দিকে দুইটি ক্রিয়াশীল সরল দোল-গতির লব্ধি ফল নির্ণয় (To find the resultant effect of two simple harmonic motions acting in the same direction) :

যখন কোন কণা সমদ্রুতিতে a ব্যাসার্ধের বৃত্তপথে T পর্যায়কালে ঘুরিতে থাকে তখন ঐ ঘূর্ণমান কণা হইতে বৃত্তের যে-কোন ব্যাসের উপর অঙ্কিত লম্বের পাদ-বিন্দুর গতি সরল দোল-গতি হয়। এই সরল দোল-গতির বিস্তার $(=a)$ বৃত্তের ব্যাসার্ধের সমান হয় এবং উহার পর্যায়কালও (T) ঘূর্ণমান কণার পর্যায়কালের সমান হয়। এই বৃত্তকে সরল দোল-গতির **সাহায্যকারী বৃত্ত** বলে।

কোন সরল দোল-গতির বিভিন্ন সময়ে যে বিভিন্ন পরিমাণ সরণ হয়, তাহা এই সাহায্যকারী বৃত্তের সাহায্যে একটি লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশ করা যায় যাহার প্রকৃতি 1.5(a) চিত্রে দেখান হইয়াছে। এই লেখচিত্রে, সরল দোল-গতির সরণ y-অক্ষের দিকে এবং যে সময়ে ঐ সরণ হইয়াছে তাহা x-অক্ষের দিকে প্রকাশ করা হইয়াছে। এজন্য এই লেখচিত্রকে সরল দোল-গতির (সময়-সরণ) লেখচিত্র বলা হয়। 1-5(a) চিত্রে, যে লেখচিত্র দেখান হইয়াছে তাহাতে সরল দোল-গতির এক পর্যায়কালের মধ্যে, বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন সরণ নির্দেশ করিতেছে।



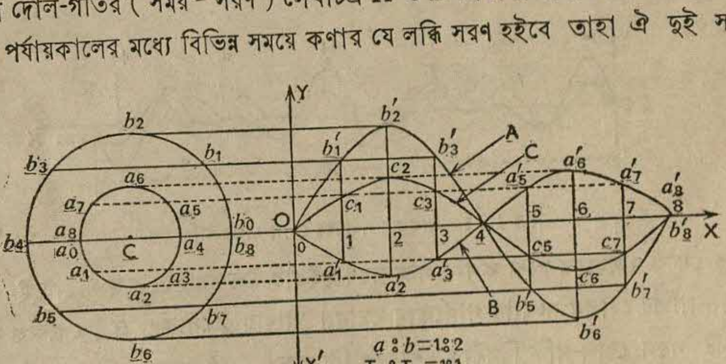
চিত্র 1.7 : সমদশায় থাকা দুইটি সরল দোল-গতির লব্ধি ফল

মনে কর একটি কণার উপর দুইটি সরল দোল-গতি একই সঙ্গে প্রয়োগ করা হইল যাহাদের পর্যায়কাল এক কিন্তু বিস্তার বিভিন্ন। একই ছক কাগজে এবং এক পর্যায়কালের মধ্যে দুইটি সরল দোল-গতির (সময়-সরণ) লেখচিত্র অঙ্কন করিলে দুইটি স্বতন্ত্র লেখচিত্র A ও B পাওয়া যাইবে [1.7 ও 1.8 নং চিত্র দেখ]। একই কণার উপর এই দুই সরল দোল-গতির উপরিপাতনের ফলে কণার যে লব্ধি গতি

হইবে তাহাও একটি লেখচিত্র C দ্বারা প্রকাশিত হইবে যাহার কোটি, ঐ দুই স্বতন্ত্র লেখচিত্রের কোটির বীজগাণিতিক যোগফল দ্বারা নির্ণীত হইবে।

(*a*) **যখন দুইটি সরল দোল-গতি সমদশায় আছে :** 1.7 নং চিত্রে দুইটি সরল দোল-গতির বিস্তারের অনুপাত $a : b = 1 : 2$ এবং তাহাদের পর্যায়কাল সমান ধরা হইয়াছে। এক পর্যায়কাল সময়ের মধ্যে বিভিন্ন সময়ে ঐ দুই সরল দোল-গতির বিভিন্ন সরণ A ও B লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশ করা হইয়াছে [ইহাদের বিস্তার যথাক্রমে a ও b এবং $b = 2a$]। যেহেতু দুই সরল দোল-গতি একই কণার উপর একই দশায় প্রযুক্ত হইয়াছে, সেইহেতু কণার লব্ধি গতিও সরল দোল-গতি হইবে যাহা C লেখচিত্র দ্বারা প্রকাশিত হইয়াছে। প্রত্যেক সময়ে, C লেখচিত্রের কোটি, A ও B লেখচিত্রের কোটির যোগফল দ্বারা নির্ণীত হইয়াছে। লব্ধি সরল দোল-গতির বিস্তারও ঐ দুই সরল দোলগতির বিস্তারের যোগফলের সমান হইবে।

(*b*) **যখন দুইটি সরল দোল-গতি বিপরীত দশায় আছে :** 1.8 নং চিত্রে দুইটি সরল দোল-গতির বিস্তারের অনুপাত $a : b = 1 : 2$ ধরা হইয়াছে এবং তাহাদের পর্যায়কাল সমান। কিন্তু এই দুই সরল দোল-গতির দশা বিপরীত। এই দুই সরল দোল-গতির (সময় - সরণ) লেখচিত্র A ও B রেখাদ্বয় দ্বারা দেখান হইয়াছে। এক পর্যায়কালের মধ্যে বিভিন্ন সময়ে কণার যে লব্ধি সরণ হইবে তাহা ঐ দুই সরল

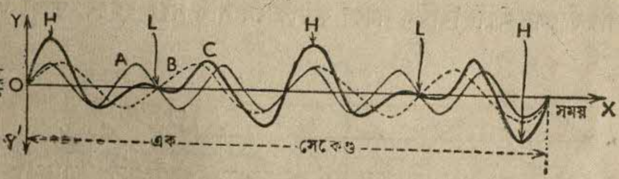


চিত্র 1.8 : বিপরাত দশায় থাকা দুইটি সরল দোল-গতির লব্ধি ফল

দোল-গতির সরণের বিয়োগফল দ্বারা নির্ণীত হইবে [কারণ উহারা বিপরীত দশা
আছে]। কণার উপর দুই সরল দোল-গতির উপরিপাতনের ফলে উহার যে ল
গতি হইতেছে তাহাও সরল দোল-গতি হইবে এবং তাহার বিস্তার ঐ দুই স্বত
দোল-গতির বিস্তারের বিয়োগফল হইবে। যদি দুই স্বতন্ত্র সরল দোল-গতির বিস্ত
সমান হয় তাহা হইলে কণার উপর তাহাদের উপরিপাতনের ফলে কণা সব সম
স্থির থাকিবে। 1.8 নং চিত্রে কণার লব্ধি সরল দোল-গতি C লেখচিত্র দ্ব
প্রকাশিত হইয়াছে।

(c) **যখন দুইটি প্রায় সমপর্যায়-কালের সরল দোল-গতি একটি কণার উপর একই দিকে আপতিত হয়** (Superposition of two simple harmonic motions of almost equal periods on a particle in the same direction) : যখন দুইটি **প্রায় সম-পর্যায়কালের** এবং প্রায় সম-বিস্তারের সরল দোল-গতি একটি কণার উপর একই দিকে আপতিত হয় তখন উহাদের প্রাথমিক দশা এক থাকিলেও উহারা পর্যায়ক্রমে সম-দশায় এবং বিপরীত দশায় আসিবে, যাহার ফলে কণার বিস্তার যথাক্রমে পর্যায়ক্রমে উচ্চতম এবং নিম্নতম হইবে। এক সেকেণ্ড সময়ের মধ্যে কণার উচ্চতম বিস্তারের সংখ্যা যাহা হইবে উহার নিম্নতম বিস্তারের সংখ্যাও তাহাই হইবে।

1.9 নং চিত্রে, একটি কণার উপর দুইটি সরল দোল-গতির উপরিপাতন একই দিকে দেখান হইয়াছে যাহাদের দোলন-সংখ্যা এক সেকেণ্ডের মধ্যে 6 ও 4। এই দুই সরল দোল-গতির প্রাথমিক দশা এক থাকায়, কণার লব্ধি সরণ সেকেণ্ডের প্রথমে উচ্চতম (H) হইবে। এই দুই সরল দোল-গতি পুনরায় $\frac{1}{2}$ সেকেণ্ডে এবং এক সেকেণ্ডের শেষে সমদশায় আসিবে তখন কণার লব্ধি সরণ আবার উচ্চতম (H) হইবে। অতএব



চিত্র 1.9 : প্রায় সম-পর্যায়ের দোল-গতির লব্ধি ফল

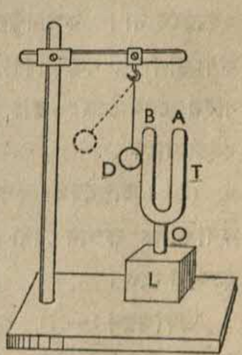
এক সেকেণ্ড সময়ের মধ্যে কণার লব্ধি সরণ দুইবার উচ্চতম হইতেছে যাহা দুই স্বতন্ত্র দোল-গতির দোলন সংখ্যার পার্থক্যের সমান। আবার $\frac{1}{4}$ সেকেণ্ড ও $\frac{3}{4}$ সেকেণ্ড সময়ে দুইটি সরল দোল-গতি বিপরীত দশায় আসিতেছে। এই সময়ে কণার লব্ধি সরণ নিম্নতম (L) হইতেছে। এবারেও এক সেকেণ্ডের মধ্যে কণার লব্ধি সরণ দুইবার নিম্নতম হইতেছে যাহা দুইটি স্বতন্ত্র দোল-গতির দোলনসংখ্যার পার্থক্যের সমান।

যখন দুইটি শ্রুতিগোচর শব্দ তরঙ্গ (যাহাদের কম্পাঙ্ক এবং বিস্তার প্রায় সমান) একই দিকে যাইয়া কোন কণার উপর আপতিত হয় তখন কণার স্থানে শব্দের তীব্রতা পর্যায়ক্রমে বাড়ে এবং কমে যাহাকে **স্বরকম্প** (beats) বলে এবং এক সেকেণ্ডে এই স্বরকম্পের সংখ্যা (এক সেকেণ্ডে উচ্চতম শব্দের সংখ্যা কিংবা নিম্নতম শব্দের সংখ্যা) ঐ দুই স্বতন্ত্র শব্দের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান হইবে।

1-9. কম্পনের প্রকৃতি—তির্যক এবং অনুদৈর্ঘ্য কম্পন (Nature of vibration—transverse and longitudinal vibrations) : যখন আমরা কোন শব্দ শুনিতে পাই তখন বুঝিতে হইবে যে ঐ শব্দ কোন-না-কোন বাস্তব পদার্থের (কঠিন, তরল কিংবা বায়বীয় পদার্থের) কম্পন দ্বারা উৎপন্ন হইয়াছে। বস্তু যদি শ্রুতিগোচর শব্দ উৎপন্ন করে তাহা হইলে বস্তুর কম্পাঙ্ক একটি সীমার মধ্যে থাকে (প্রায় 27 হইতে 20000-এর মধ্যে)। যে শব্দের কম্পাঙ্ক 27-এর নীচে তাহা শুনিতে পাওয়া যায় না এবং এইরূপ শব্দকে **শব্দেতর** শব্দ (infra-sonic sound) বলে। আবার যে শব্দের কম্পাঙ্ক 20000-এর উপরে তাহাও শুনিতে পাওয়া যায় না এবং এই প্রকার শব্দকে **শব্দোত্তর** শব্দ (ultra-sonic sound) বলে। কম্পনশীল বস্তুর কণাগুলির কম্পন রেখার সহিত বস্তুর তলের কিংবা দৈর্ঘ্যের সম্বন্ধ বিচার করিয়া কম্পনকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়, **যথা**.—(*a*) তির্যক কম্পন এবং (*b*) অনুদৈর্ঘ্য কম্পন।

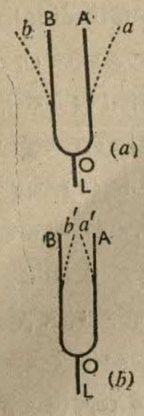
(*a*) **তির্যক কম্পন** (Transverse vibration): যে কম্পনে বস্তুর কণাগুলির কম্পনরেখা বস্তুর তলের বা দৈর্ঘ্যের লম্বের দিকে থাকে তাহাকে **তির্যক কম্পন** বলে।

উদাহরণ :—(*i*) একটি আয়তক্ষেত্রিক প্রস্থচ্ছেদযুক্ত স্টীল কিংবা অ্যালুমিনিয়ামের দণ্ডকে U-আকৃতিতে বাঁকাইয়া (AOB) উহার নীচের বাঁকা স্থানে (O) একটি সরল দণ্ড (OL) যুক্ত করিলে যে যন্ত্র গঠিত হয় তাহাকে **সুরশলাকা** (tuning fork) বলে [1.10 নং চিত্র]। এই সুরশলাকার যে-কোন উল্লম্ব বাহুকে রবারের প্যাডযুক্ত হাতুড়ি দ্বারা ঘা দিলে উহা হইতে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাহা একটি কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট বিশুদ্ধ শব্দ যাহাকে **সুর** (tone) বলে। এই শব্দ উৎপন্ন করিবার সময় শলাকার বাহুদ্বয়ের কণাগুলির যে কম্পন হয় সেই কম্পন-রেখা বাহুদ্বয়ের লম্বের দিকে থাকে। কাজেই শলাকার বাহুর কণাগুলির কম্পন **তির্যক-কম্পন** হইবে। যদি একটি শোলার বল (D) সূতা দ্বারা ঝুলাইয়া শলাকার যে-কোন বাহুর সংস্পর্শে রাখা যায় তাহা হইলে দেখা যায় যে উহার বাহুর কম্পনের সময় বলটি শলাকার গায়ে বার-বার ঘা খাইয়া বাহু হইতে দূরে সরিয়া যাইতেছে। এই ঘটনা প্রমাণ করে যে শলাকার বাহুর কণাগুলির তির্যক-কম্পন হইতেছে। আবার যেহেতু শলাকা এক কম্পাঙ্কের বিশুদ্ধ শব্দ উৎপন্ন করিতেছে সেইহেতু উহার বাহুর কণাগুলির



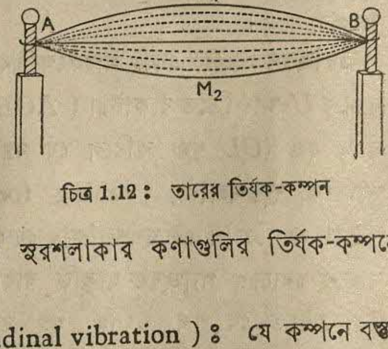
চিত্র 1.10 : সুরশলাকার কম্পন

কম্পনের (সময়-সরণ) লেখচিত্র সাইন লেখচিত্রের অনুরূপ হইবে [1.5 (*b*) চিত্র দেখ]। শলাকার কম্পনের সময় উহার বাহুদ্বয় একযোগে বাহিরে যায় [1.11 (*a*)নং চিত্র] এবং একযোগে ভিতরে আসে [1.11 (*b*) নং চিত্র]



চিত্র 1.11 : শলাকার কম্পন-প্রকৃতি

(*ii*) একটি টানযুক্ত তারকে তাহার দৈর্ঘ্যের লম্বের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার কম্পন হইতে থাকিবে এবং ইহার জন্য একটি শব্দও উৎপন্ন হইবে [1.12 নং চিত্র] এখানে তারের কণাগুলির কম্পনরেখা (M_1M_2) তারের দৈর্ঘ্যের লম্বের দিকে হইতেছে, কাজেই তারের কণাগুলির এইরূপ কম্পন তির্যককম্পন হইবে। ইহা দেখাইতে হইলে তারের উপর এক টুকরা কাগজ বসাইয়া তারে তির্যক-কম্পনের সৃষ্টি করিলে কাগজের টুকরাটি কম্পনের সঙ্গে সঙ্গে নীচে পড়িয়া যায়। এখানে তারের কণাগুলির যে স্পন্দন হইতেছে তাহা পর্যাবৃত্ত স্পন্দন (Periodic vibration) হইলেও সরল স্পন্দন (simple harmonic vibration) হইতেছে না। কম্পনশীল তারের এই কণাগুলির (সময়-সরণ) লেখচিত্র সাইন লেখচিত্রের ন্যায় হয় না, যেরূপ সুরশলাকার কণাগুলির তির্যক-কম্পনে হইয়া থাকে।



চিত্র 1.12 : তারের তির্যক-কম্পন

(*b*) **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** (Longitudinal vibration) : যে কম্পনে বস্তুর কণাগুলির কম্পন রেখা বস্তুর তলের বা দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে হয় তাহাকে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** বলে।

উদাহরণ :—(*i*) সুরশলাকার বাহুদ্বয়ের কণাগুলির তির্যক-কম্পনে যখন শব্দ উৎপন্ন হইতে থাকে, তখন উহার নীচের বাঁকাস্থানে যে লম্বা ডাঁটি (*OL*) যুক্ত থাকে তাহার অনুদৈর্ঘ্য কম্পন হয়। কম্পনশীল সুরশলাকার এই ডাঁটি যখন টেবিলের সংস্পর্শে রাখা হয় তখন ডাঁটির অনুদৈর্ঘ্য কম্পন টেবিলে সঞ্চালিত হয় এবং তাহার ফলে টেবিলের তির্যক কম্পন হয় এবং শব্দের সৃষ্টি হয়।

(*ii*) একটি অর্গ্যান নলে কিংবা চাবির ফাঁপা নলে জোরে ফুঁ দিলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাহাতে নলের মধ্যস্থ বায়ুকণাগুলির অনুদৈর্ঘ্য কম্পন হয়, অর্থাৎ বায়ুকণাগুলির কম্পনরেখা নলের দৈর্ঘ্যের সমান্তরালে থাকে। এখানে যে শব্দ উৎপন্ন

হয় তাহা বিশুদ্ধ শব্দ নয়, একটি মিশ্র বা জটিল শব্দ। এজন্য বায়ুকণাগুলির (সময়-সরণ) লেখচিত্র, স্বরশলাকার বাহুর কণাগুলির (সময়-সরণ) লেখচিত্রের ন্যায় সরল হয় না।

(*iii*) একটি লম্বা পিতল কিংবা লোহার দণ্ডকে যদি রজনযুক্ত চামড়া দ্বারা উহার দৈর্ঘ্য বরাবর টানা হয়, তাহা হইলে একটি তীক্ষ্ণ শব্দ শুনা যাইবে। এখানে দণ্ডের কণাগুলির কম্পনের জন্য যে শব্দ উৎপন্ন হইতেছে, সেই কম্পন দণ্ডের দৈর্ঘ্য বরাবর হয়। এজন্য এই কম্পনকে অনুদৈর্ঘ্য কম্পন বলে। এখানেও কণাগুলির (সময়-সরণ) লেখচিত্র, সাইন লেখচিত্রের ন্যায় সরল হয় না।

1·10. স্বভাব-কম্পন, পরবশ কম্পন এবং অনুনাদ (Free vibration, Forced vibration and Resonance) ঃ

(*a*) **স্বভাব-কম্পন** (Free vibration) :—যে বস্তুর কম্পনের যোগ্যতা আছে, তাহার উপর যদি কোনরূপ বাহ্যিক কিংবা অভ্যন্তরীণ বাধা বা প্রতিবন্ধক প্রযুক্ত না থাকে তাহা হইলে ঐ বস্তুকে আন্দোলিত করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার যে কম্পন হইবে তাহাকে **মুক্ত** বা **স্বাভাবিক কম্পন** (free or natural vibration) বলে। বস্তুর এই স্বাভাবিক কম্পন যে পর্যায়কালে হইতে থাকে তাহাকে বস্তুর **স্বাভাবিক কম্পনের পর্যায়কাল** (period of free vibration) বলে।

উদাহরণ.—(*i*) একটি দোলকের পিণ্ডকে একদিকে টানিয়া আনিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার যে স্পন্দন হইতে থাকে তাহাকে দোলকের স্বভাব-কম্পন বলে এবং যে পর্যায়কালে এই স্বভাব-কম্পন হয় তাহাকে দোলকের স্বভাব-কম্পনের পর্যায়কালে বলে। (*ii*) একটি টানযুক্ত তারকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার যে কম্পন হইতে থাকে তাহাকে স্বভাব-কম্পন বলে এবং যে কম্পাঙ্কে উহার কম্পন হয় তাহা উহার স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক (free frequency) হইবে। (*iii*) একটি স্বরশলাকার এক বাহুকে রবারের প্যাডযুক্ত হাতুড়ি দ্বারা ঘা দিয়া ছাড়িয়া দিলে উহা উহার নিজস্ব একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হইতে থাকিবে যাহাকে শলাকার স্বভাবিক কম্পাঙ্ক বলে এবং শলাকার এইরূপ কম্পনকে স্বভাব-কম্পন বলে।

(*b*) **পরবশ-কম্পন** (Forced vibration) :—যে বস্তুর একটি নির্দিষ্ট পর্যায়-কালে স্বাভাবিক-কম্পনের যোগ্যতা আছে, তাহার উপর যদি একটি পর্যাবৃত্ত বল*

---

*যে বলের পরিমাণ এবং অভিমুখ সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় এবং একটি নির্দিষ্ট ন্যূনতম সময় পর পর ঐ বলের পরিমাণ এবং অভিমুখের পুনরাবৃত্তি ঘটে তাহাকে **পর্যাবৃত্ত বল** বলে এবং যে ন্যূনতম সময় পর পর বলের পরিমাণ এবং অভিমুখের পুনরাবৃত্তি ঘটে সেই ন্যূনতম সময়কে পর্যাবৃত্ত বলের **পর্যায়কাল** বলে।

(periodic force) প্রয়োগ করা হয়, যাহার পর্যায়কাল এবং বস্তুর স্বাভাবিক কম্পনের পর্যায়কাল **ভিন্ন**, তাহা হইলে প্রথমে বস্তুটির অনিয়মিত কম্পন হইতে থাকিবে কিন্তু কিছুক্ষণ পর বস্তুটির কম্পন নিয়মিতভাবে হইতে থাকিবে এবং বস্তুর স্বাভাবিক কম্পনের পর্যায়কাল যাহাই থাকুক না কেন এখন এই নিয়মিত কম্পনের পর্যায়কাল পর্যাবৃত্ত বলের পর্যায় কালের সমান হইবে। অতএব,

বস্তুর স্বাভাবিক কম্পনের পর্যায়কাল ব্যতীত, যে-কোন পর্যায়কালের পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে উহার নিয়মিত কম্পন হইতে থাকিলে ঐ কম্পনকে বস্তুর **পরবশ কম্পন** বলে।

উদাহরণ.—(*i*) যে-কোন স্বরশলাকার একটি বাহুকে রবারের প্যাড্‌যুক্ত হাতুড়ি দ্বারা ঘা দিলে উহার যে কম্পন হইবে তাহাকে শলাকার স্বাভাবিক কম্পন বলে এবং এই কম্পন যে কম্পাঙ্কে হইবে তাহাকে উহার স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক বলে। স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক বিভিন্ন শলাকার ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়।

এই কম্পনশীল স্বরশলাকা যতক্ষণ বাতাসের মধ্যে থাকে ততক্ষণ উহার শব্দ প্রায় শুনাই যায় না। কারণ শলাকার কম্পনশীল বাহু, কেবলমাত্র উহার সংস্পৃষ্ট খুব **অল্পসংখ্যক** বায়ুকণাগুলিতে পরবশ কম্পন সৃষ্টি করায় শব্দের তীব্রতা খুব কম হয়। কম্পনশীল শলাকার শক্তি অল্প অল্প করিয়া বাতাসে সঞ্চালিত হওয়ায় উহার কম্পন এক্ষেত্রে অনেকক্ষণ স্থায়ী হয়।

কিন্তু কম্পনশীল শলাকার ডাঁটি যখন কোন টেবিল (বা ফাঁপা বাক্সের) সংস্পর্শে আনা হয় তখন শলাকার কম্পন খুব দ্রুত টেবিলে সঞ্চালিত হয়। ইহার ফলে সমস্ত টেবিলের পরবশ কম্পন হইতে থাকে যাহার কম্পাঙ্ক শলাকার কম্পাঙ্কের সমান। টেবিলের এই কম্পন উহার সংস্পৃষ্ট বেশী আয়তনের বাতাসের মধ্যে সঞ্চালিত হওয়ায়, বেশী আয়তনের বাতাসের একযোগে কম্পন হইতে থাকে যাহার ফলে শলাকার শব্দ খুব জোরে শুনা যায়। এখানে কম্পনশীল শলাকার শক্তি খুব বেশী পরিমাণে দ্রুত টেবিলে সঞ্চালিত হওয়ায় শলাকার কম্পন স্বল্পস্থায়ী হয়।

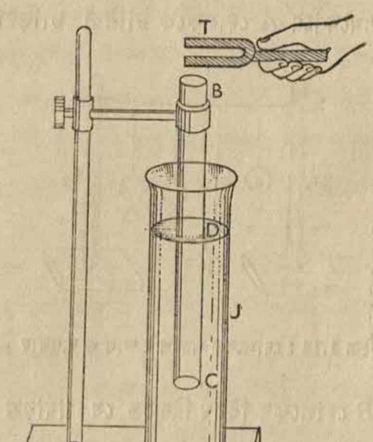
(*ii*) কতকগুলি বাদ্যযন্ত্রের তার (যেমন বেহালা, সেতার, এসরাজ প্রভৃতি) ফাঁপা বাক্সের উপর আটকানো থাকে। তারগুলিতে কম্পন সৃষ্টি করিয়া যখন শব্দ উৎপন্ন করা হয় তখন কম্পনশীল তারগুলি ফাঁপা বাক্সের মধ্যস্থ বায়ুতে পরবশ কম্পন সৃষ্টি করে, যে পরবশ কম্পনের কম্পাঙ্ক এবং তারের কম্পাঙ্ক সমান। তার এবং বাক্সের মধ্যস্থ বাতাসের একযোগে এবং একই কম্পাঙ্কে কম্পন হওয়ায় শব্দের তীব্রতা খুব বেশী হয়।

(c) **অনুনাদ** (Resonance):—যে বস্তুর একটি নির্দিষ্ট পর্যায়কালে স্বাভাবিক-কম্পনের যোগ্যতা আছে, তাহার উপর যদি একটি পর্যাবৃত্ত বল প্রয়োগ করা

হয়, যাহার পর্যায়কাল এবং বস্তুর স্বাভাবিক-কম্পনের পর্যায়কাল **সমান,** তাহা হইলে বস্তুটির কম্পন বেশী বিস্তারে এবং নিজস্ব কম্পাঙ্কে হইতে থাকিবে। বস্তুর এই প্রকার কম্পনকে **অনুনাদ** বলে। অতএব, বস্তুর সম-পর্যায়কালের পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে, বস্তুর যে কম্পন হয় তাহাকে **অনুনাদ** বলে।

উদাহরণ.—(*i*) **টানযুক্ত তারে অনুনাদ**—সনোমিটারের বাক্সের উপরতলে যে সরু লোহার তার টান করিয়া বাঁধা থাকে তাহার সহিত একটি কম্পনশীল স্বরশলাকার অনুনাদ দেখান যায়। এই উদ্দেশ্যে একটি পাতলা কাগজের টুকরা তারের উপর স্থাপন করিয়া কম্পনশীল স্বরশলাকার ডাঁটি বাক্সের তলের সংস্পর্শে আনা হইল। এই কম্পনশীল শলাকা তাহার সম-কম্পাঙ্কের পরবশ কম্পন তারে সৃষ্টি করিবে। যতক্ষণ শলাকার কম্পাঙ্ক, তারের স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান না হয় ততক্ষণ তারের পরবশ কম্পন খুব নগণ্য বিস্তারে হয় যাহার জন্য তারের উপর স্থাপিত কাগজের টুকরা পড়িয়া যায় না। তারের দৈর্ঘ্য পরিবর্তন করিয়া যখন উহার কম্পাঙ্ক শলাকার কম্পাঙ্কের সমান করা হয় তখন কম্পনশীল শলাকার ডাঁটি সনোমিটারের বাক্সের তলে বসাইবামাত্র কাগজের টুকরা খুব জোরে নীচে পড়িয়া যায়। এক্ষণে শলাকার এবং তারের কম্পাঙ্ক এক হওয়ায় উহাদের মধ্যে অনুনাদ হইতেছে, যাহার ফলে তারটির বেশী বিস্তারে কম্পন হইতেছে এবং উহার উপরিস্থিত কাগজের টুকরাকে জোরে ফেলিয়া দিতেছে।

(*ii*) **বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ**—কোন নলের মধ্যে আবদ্ধ বায়ুস্তম্ভের একটি স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক থাকে যাহা উহার দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। একটি দুই মুখ খোলা নলকে (BC) একটি জারের (J) জলের মধ্যে প্রায় সবটাই ডুবাইয়া নলের মধ্যে খুব স্বল্প দৈর্ঘ্যের (BD) বায়ুস্তম্ভ রাখা হইল। একটি কম্পনশীল স্বরশলাকার (T) বাহুকে নলের খোলামুখের (B) কাছে ধরিলে উহা বায়ুস্তম্ভে (যাহার দৈর্ঘ্য BD) [1.13নং চিত্র] পরবশ কম্পনের সৃষ্টি করিবে যাহার কম্পাঙ্ক শলাকার কম্পাঙ্কের সমান কিন্তু বায়ুস্তম্ভের নিজস্ব কম্পাঙ্ক হইতে ভিন্ন। বায়ুস্তম্ভের এই পরবশ কম্পন এত অল্প বিস্তারে হয় যে, যাহার ফলে সৃষ্ট শব্দের প্রাবল্য খুব কম হয় এবং ঐ শব্দ



চিত্র 1.13 : বায়ু-স্তম্ভে অনুনাদ

উদাহরণ :—(*i*) যখন কোন দোলকের স্পন্দন বাতাসের মধ্যে হয়, তখন ঐ বাতাস উহার স্পন্দনকে বাধা দিতে থাকে যাহা দোলকের বেগের সমানুপাতিক। আবার দোলকের বিলম্ব বিন্দুতে একটি ঘর্ষণ-বল ক্রিয়া করে এবং ইহাও দোলকের স্পন্দনকে বাধা দিতে থাকে। এই দ্বিবিধ বাধার ফলে দোলকের বিস্তার আস্তে আস্তে কমিয়া আসে এবং অবশেষে দোলক স্থির হইয়া যায়। দোলকের এইরূপ স্পন্দনকে প্রতিরুদ্ধ স্পন্দন বলে। এখানে দোলকের স্পন্দনের উপর যে বাধা প্রযুক্ত হইতেছে তাহার পরিমাণ খুব কম, এজন্য দোলকের প্রতিরুদ্ধ স্পন্দনের পর্যায়কাল প্রায় উহার স্বাভাবিক কম্পনের পর্যায়কালের সমান হইবে।

(*ii*) দোলক ঘড়ির দোলকের স্পন্দনও প্রতিরুদ্ধ স্পন্দন। এজন্য ঘড়ির দোলকের স্পন্দন বজায় রাখিবার জন্য ঘড়িতে চাবি দেবার ব্যবস্থা থাকে [অর্থাৎ একটি স্প্রিং-কে জড়াইয়া উহার মধ্যে শক্তি সঞ্চিত করিয়া রাখা হয় যাহার ব্যয়ে দোলকের স্পন্দন বজায় থাকে]। কিন্তু দোলককে যদি কোন তরলের মধ্যে রাখিয়া উহাকে একদিকে টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয় তাহা হইলে ঐ তরল দোলকের স্পন্দনের উপর প্রবল বাধা প্রয়োগ করিবে। ইহার ফলে দোলকটি আস্তে আস্তে তাহার সাম্য অবস্থানে যাইয়া স্থির থাকিবে, অর্থাৎ দোলকের স্পন্দন মোটেই হইবে না। এক্ষেত্রে বস্তুর স্পন্দন প্রবলভাবে প্রতিরুদ্ধ হইল (heavily damped)।

(*iii*) আবার বাদ্যযন্ত্রের তারে কম্পন সৃষ্টি করিলে (বেহালার ছড় দ্বারা কিংবা তারকে আঙ্গুল দ্বারা টানিয়া) ঐ কম্পন অল্প সময়েই থামিয়া যায়। তারের এই কম্পনকে প্রতিরুদ্ধ কম্পন বলে। তারের কম্পন বজায় রাখিবার জন্য নানারূপ ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয়।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Subjective Questions) [অধ্যায় 1]

1. পর্যাবৃত্ত গতি এবং স্পন্দনগতির মধ্যে কি কোন পার্থক্য আছে? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। পর্যায়কাল বলিতে কি বুঝ? [Art. 1-1]

2. স্পন্দন গতির বৈশিষ্ট্য কি কি? সরল দোলগতির সংজ্ঞা লিখ এবং উদাহরণ দ্বারা সরল দোলগতির স্বরূপ বুঝাইয়া দাও। [Arts. 1-2 ও 1-3]

3. প্রমাণ কর যে, কোন কণা সমদ্রুতিতে একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরিতে থাকিলে ঐ ঘূর্ণমান কণার বিভিন্ন অবস্থান হইতে বৃত্তের যে-কোন ব্যাসের উপর লম্ব টানিলে, ঐ ব্যাস বরাবর লম্বের পাদবিন্দুর যে গতি হইবে তাহাই সরল দোলগতি। এই সরল দোলগতির গতিসমীকরণ নির্ণয় কর। [Art. 1-4

4. সরল দোলগতি সংক্রান্ত নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর: (*a*) কম্পনকাল ও কম্পাঙ্ক এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ, (*b*) বিস্তার, (*c*) দশা ও আদিদশা, (*d*) সমদশা ও বিপরীত দশা। [Art. 1-5]

5. সরল দোলগতি একটি লেখচিত্র দ্বারা কিভাবে প্রকাশ করিবে? এই লেখচিত্রের প্রকৃতি কিরূপ হয়? [Art. 1-6]

6. সরল দোলগতি সম্পন্ন কোন কণার যে-কোন অবস্থানের জন্য স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি নির্ণয় কর এবং দেখাও যে কণার গতিপথের যে-কোন স্থানে মোটশক্তির পরিমাণ স্থির থাকে। [Art. 1-7]

7. একটি কণার উপর একই দিকে দুইটি সরল দোলগতির উপরিপাতন হইলে, লেখচিত্রের সাহায্যে কণার লব্ধি ফল নির্ণয় কর যখন সরল দোলগতি দুইটির, (*a*) বিস্তার অসমান, পর্যায়কাল সমান এবং সমদশায় আছে, (*b*) বিস্তার অসমান, পর্যায়কাল সমান এবং প্রারম্ভিক দশা বিপরীত (*c*) বিস্তার এবং পর্যায়কাল **প্রায় সমান** এবং আদিদশা সমান। [Art. 1-8]

8. কোন বাস্তব বস্তুর কম্পনে যে শব্দ উৎপন্ন হয় সেই কম্পন কয় প্রকারের হইতে পারে ? উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। কম্পন সংখ্যা কত মানের মধ্যে থাকিলে আমরা শব্দ শুনিতে পাই ? একটি সুরশলাকার কণার এবং টান তারের কণার কম্পনের প্রকৃতি কি এক প্রকার ? যদি এক না হয় তাহা হইলে উহাদের কম্পনের (সময়-সরণ) লেখচিত্র ভিন্ন হওয়ার কারণ কি ? [Art. 1-9]

9. স্বাভাবিক কম্পন, পরবশ কম্পন ও অনুনাদ কাহাকে বলে ? উদাহরণ দ্বারা উহাদিগকে বুঝাইয়া দাও। একটি কম্পনশীল সুরশলাকার ডাঁটি টেবিলের সংস্পর্শে রাখিলে শব্দের তীব্রতা খুব বেশী হয় কেন ? টেবিলের যে কম্পন হয় তাহা স্বাভাবিক কম্পন, না পরবশ কম্পন, না অনুনাদ ? কম্পনশীল সুরশলাকার কম্পনের স্থায়িত্ব-কাল কোন সময়ে বেশী হইবে ?—যখন বাতাসের মধ্যে রাখা হইবে কিংবা যখন টেবিলের সংস্পর্শে রাখা হইবে ? তোমার উত্তরের স্বপক্ষে উপযুক্ত যুক্তির অবতারণা কর। [Art 1-10]

10. যখন সুরশলাকার কিংবা দোলকের স্পন্দন হইতে থাকে তখন ঐ স্পন্দনের বিস্তার আস্তে আস্তে কমিয়া অবশেষে স্থির হইয়া যায়। কেন এরূপ হয় ? ইহার উপযুক্ত ব্যাখ্যা দাও। দোলকের স্পন্দন বজায় রাখিতে হইলে কি ব্যবস্থা অবলম্বন করার প্রয়োজন ? [Art. 1-11]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী (Objective Type Questions) [অধ্যায় 1]

A. Multiple choice type : (1) পরবশ কম্পন কখন হয় ?—যে বস্তুর কম্পনের যোগ্যতা আছে তাহাকে আন্দোলিত করিয়া ছাড়িয়া দিলে যে কম্পন হয় তাহাকে পরবশ কম্পন বলে ; বস্তুর উপর প্রযুক্ত কোন পর্যাবৃত্ত বলের প্রভাবে যে কম্পন হয় তাহাই পরবশ কম্পন হইবে, যখন প্রযুক্ত বলের পর্যায়কাল এবং বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল ভিন্ন হয় ; বস্তুর উপর প্রযুক্ত পর্যাবৃত্ত বলের পর্যায়কাল এবং বস্তুর স্বাভাবিক পর্যায়কাল সমান হইলে বস্তুর যে কম্পন হয় তাহাকে পরবশ কম্পন বলে। (2) বস্তুর স্বাভাবিক কম্পন হইলে উহার বিস্তারের কিরূপ পরিবর্তন হয় ?—উহার বিস্তার সব সময় একই থাকে ; সময়ের সহিত উহার বিস্তার কমিতে থাকে ; সময়ের সহিত উহার বিস্তার বাড়িতে থাকে।

B. Completion type : (1) কম্পনশীল কোন কণার যদি (সময়-সরণ) লেখচিত্র—লেখচিত্রের অনুরূপ হয় তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে কণার সরল—হইতেছে। (2) যে কম্পনের বিস্তার সময়ের সহিত আস্তে আস্তে কমিতে থাকে তাহাকে—কম্পন বলে। (3) যখন প্রায় সমান কম্পাঙ্কের এবং বিস্তারের দুইটি শব্দতরঙ্গ একই দিকে যাইয়া একটি—আপতিত হয় তখন ঐ বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা পর্যায়ক্রমে—হয় যাহাকে—বলে।

C. True or False type : (1) যখন কোন টানযুক্ত তারের ন্যূনতম দৈর্ঘ্যের কম্পাঙ্ক সুরশলাকার কম্পাঙ্কের সহিত মিলিয়া যায় তখন উহাদের মধ্যে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। (2) কোন ফাঁপা বাক্সের উপর কম্পনশীল সুরশলাকার ডাঁটিকে ধরিলে শলাকার শব্দের তীব্রতা বাড়ে এবং শব্দ অনেকক্ষণ স্থায়ী হয়। (3) যে-কোন কম্পাঙ্কের দুইটি সুরশলাকা একসঙ্গে বাজাইলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়। (4) শ্রুতিগোচর শব্দের কম্পাঙ্ক একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে থাকে।

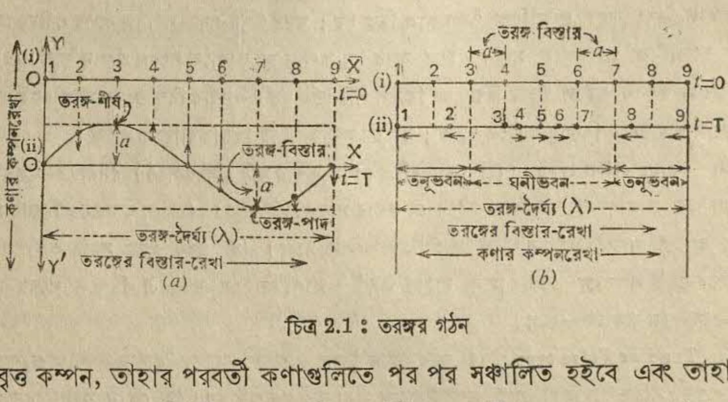
অধ্যায় 2

তরঙ্গ : তরঙ্গের উপরিপাতন : ডপ্‌লার-ঘটনা

[Waves : Superposition of waves : Doppler Phenomenon]

2-1. তরঙ্গের গঠন (Formation of waves) : মনে করা যাক্, একটি স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কিছু সংখ্যক কণা (1, 2,⋯9), প্রাথমিক অবস্থায় একটি সরলরেখার (OX) উপর অবস্থান করিতেছে [2.1 নং চিত্র]। এক্ষণে যদি 1নং কণার ঐ সরলরেখার অভিলম্বের দিকে [2·1(a) নং চিত্র] কিংবা সমান্তরাল সরলরেখার দিকে [2·1 (b) নং চিত্র] পর্যাবৃত্ত কম্পন (periodic vibration) হয় তাহা হইলে উহার কম্পন দ্বিতীয় কণাতেও সঞ্চালিত হইবে [কারণ মাধ্যমটির স্থিতিস্থাপকতা ধর্ম আছে] এবং এই দ্বিতীয় কণারও প্রথম কণার অনুরূপ একই পর্যায়কালে পর্যাবৃত্ত কম্পন হইতে থাকিবে। কিন্তু দ্বিতীয় কণার কম্পন, প্রথম কণার কম্পনের সঙ্গে সঙ্গেই আরম্ভ হয় না, একটু পরে আরম্ভ হয় এবং কত পরে আরম্ভ হইবে তাহা মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভর করিবে। অর্থাৎ দ্বিতীয় কণার কম্পনের দশা (phase) প্রথম কণার কম্পনের দশা অপেক্ষা **কম** হইবে।

অনুরূপভাবে, দ্বিতীয় কণার কম্পন, কিছু সময় পর তৃতীয় কণায় সঞ্চালিত হইবে এবং এই কণারও প্রথম ও দ্বিতীয় কণার ন্যায় পর্যাবৃত্ত কম্পন হইতে থাকিবে। ইহাদের সকলের কম্পনেরই, পর্যায়কাল একই থাকিবে। এইভাবে প্রথম কণার



চিত্র 2.1 : তরঙ্গের গঠন

পর্যাবৃত্ত কম্পন, তাহার পরবর্তী কণাগুলিতে পর পর সঞ্চালিত হইবে এবং তাহাদের কম্পনের দশা ক্রমশঃ নিয়মিতভাবে কমিতে থাকিবে। T সেকেণ্ড সময়ে, যখন প্রথম কণা (1নং কণা) একবার পূর্ণ-কম্পন সম্পন্ন করিল তখন উহার কম্পন সঞ্চালিত হইয়া সবেমাত্র 9নং কণায় পৌঁছিল। কাজেই 1নং কণার দশা যখন 2π তখন

9নং কণার দশা শূন্য হইবে। অতএব 1নং ও 9নং কণার কম্পনের দশার পার্থক্য 2π, অর্থাৎ উহারা সমদশায় আছে [1·5 (f) অনুচ্ছেদ দেখ]। কিন্তু 1নং ও 9নং কণা দুইটির মধ্যস্থ কম্পনশীল কণাগুলির দশা ক্রমহ্রাসমান হওয়ায়, T সেকেণ্ড সময়ে কণাগুলির অবস্থান বিভিন্ন স্থানে হইবে [যদিও উহারা $t=0$ সময়ে একই সরলরেখার (OX) উপর ছিল]। এই T সেকেণ্ড সময়ে কণাগুলি যে সজ্জায় সজ্জিত থাকিবে তাহাকে **তরঙ্গ রেখা** (Wave-form) বলে। যেহেতু কণাগুলির অবস্থান, বিভিন্ন সময়ে বিভিন্ন হয় সেই হেতু সময়ের সহিত তরঙ্গ রেখারও পরিবর্তন হইবে।

2.1(a)নং চিত্রে, যে তরঙ্গের গঠন দেখান হইয়াছে তাহাতে মাধ্যমের কণাগুলির কম্পন তরঙ্গের গতিপথের সমকোণে হইতেছে। এই প্রকার তরঙ্গকে **তির্যক-তরঙ্গ** (transverse waves) বলে। 2.1 (b)নং চিত্রে, যে তরঙ্গের গঠন দেখান হইয়াছে তাহাতে মাধ্যমের কণাগুলির কম্পন তরঙ্গের গতিপথের সমান্তরালে হইতেছে। এই প্রকার তরঙ্গকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (longitudinal waves) বলে। কণাগুলির কম্পনের জন্য তরঙ্গের সৃষ্টি হইলেও উহারা স্থানচ্যুত হইয়া তরঙ্গের অভিমুখে চলিয়া যায় না। কম্পনের সময় কণাগুলি তাহাদের সাম্য অবস্থানের দুইপাশে নির্দিষ্ট দূর পর্যন্ত যাইয়া আবার সাম্য অবস্থানে ফিরিয়া আসে। কণাগুলির পর্যাবৃত্ত কম্পনের জন্য যে তরঙ্গ গঠিত হয় তাহাকে **পর্যাবৃত্ত তরঙ্গ** (periodic waves) বলে। আর তরঙ্গ যদি কণাগুলির সরল দোলগতির জন্য সৃষ্ট হয় তাহা হইলে ঐ তরঙ্গকে **সরল দোলগতি সম্পন্ন তরঙ্গ** (simple harmonic waves) বলে।

2-2 তরঙ্গ-সংক্রান্ত কয়েকটি রাশির সংজ্ঞা এবং তাহাদের পারস্পরিক সম্বন্ধ (Definition of some terms relating to waves and their inter-relation) :

(a) **তরঙ্গ** (Waves) :—স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের বিভিন্ন কণাগুলির যখন ক্রমহ্রাসমান দশায় এক সঙ্গে কম্পন (হয় পর্যাবৃত্ত কম্পন না হয় সরল দোলগতি সম্পন্ন কম্পন) হইতে থাকে তখন কণাগুলির এই সমষ্টিগত কম্পনের ফলে যে অবস্থার সৃষ্টি হয় তাহাকে তরঙ্গ বলে [2·1নং চিত্রদ্বয় দেখ]।

(b) **তরঙ্গ-বিস্তার** [Amplitude of wave (a)] :—তরঙ্গ সৃষ্টিকারী কোন কম্পনশীল কণার তাহার সাম্য অবস্থানের যে-কোন দিকের চরম সরণকে তরঙ্গ-বিস্তার বলে।

2.1(a) ও 2.1(b) নং চিত্রদ্বয়ের (ii)নং চিত্রে, 3নং ও 7 নং কণাদ্বয়ের সাম্য অবস্থান হইতে উহাদের চরম সরণ a দূরত্বের দ্বারা হইয়াছে। কাজেই দুই প্রকার তরঙ্গের ক্ষেত্রেই তরঙ্গ-বিস্তার a হইবে।

(c) **তরঙ্গের পর্যায়কাল** [Period of the wave (T)] :—তরঙ্গসৃষ্টিকারী কম্পনশীল কোন কণার যে পর্যায়কাল হইবে, তাহাই তরঙ্গেরও পর্যায়কাল (T) হইবে। 2.1(a) ও 2.1(b) নং চিত্রদ্বয়ের (ii) নং চিত্রে, 1নং কণার কম্পনকাল T সেকেণ্ড, কাজেই তরঙ্গেরও পর্যায়কাল T সেকেণ্ড হইবে। এই T সেকেণ্ডে একটি পূর্ণ তরঙ্গের সৃষ্টি হইয়াছে, সুতরাং একটি পূর্ণতরঙ্গের সৃষ্টি হইতে যে সময় লাগে তাহাকেও তরঙ্গের পর্যায়কাল বলা যাইতে পারে।

(d) **তরঙ্গের কম্পাঙ্ক** [Frequency of the wave (n)] :—এক সেকেণ্ড সময়ে যত সংখ্যক পূর্ণতরঙ্গের সৃষ্টি হয় সেই সংখ্যাকে তরঙ্গের কম্পাঙ্ক বলে। মাধ্যমের কণার একটি পূর্ণকম্পনে (যাহার জন্য সময় লাগে T সেকেণ্ড) একটি পূর্ণতরঙ্গের সৃষ্টি হয়। কাজেই n সংখ্যক পূর্ণ-তরঙ্গ সৃষ্টি করিতে সময় লাগিবে nT সেকেণ্ড। n যদি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক হয় তাহা হইলে nT = এক সেকেণ্ড। অর্থাৎ, $nT=1$ ···(2-2a)

(e) **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** [Wave length (λ)] :—(i) তরঙ্গস্থিত দুইটি সমদশাসম্পন্ন কম্পনশীল কণার মধ্যের **ন্যূনতম দূরত্বকে** তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) বলে। (ii) অথবা, স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কোন কণার, একবার পূর্ণ কম্পন হইতে যে সময় লাগে (সেই সময়কে কণার পর্যায়কাল T বলে) সেই সময়ে উহার কম্পন যতদূর সঞ্চালিত হয় সেই দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) বলে। অতএব তরঙ্গদৈর্ঘ্য যদি λ হয় তাহা হইলে T সেকেণ্ড সময়ে তরঙ্গ λ দূরত্বের দ্বারা অগ্রসর হইবে। কাজেই তরঙ্গের বেগ হইবে $V=\lambda/T$; অথবা, $VT=\lambda$ ···(2-2b)

(f) **তরঙ্গের বেগ** [Velocity of wave (V)] :—এক সেকেণ্ড সময়ে, তরঙ্গ মাধ্যমের মধ্যে যতদূর অগ্রসর হয় সেই দূরত্বকে তরঙ্গের বেগ (V) বলে।

এক সেকেণ্ড সময়ে যদি n সংখ্যক পূর্ণ-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহা হইলে এই n সংখ্যক পূর্ণ-তরঙ্গ যে দৈর্ঘ্যের স্থান অধিকার করিবে তাহাই তরঙ্গের বেগ হইবে। কিন্তু এক একটি পূর্ণতরঙ্গ যে দৈর্ঘ্যের স্থান অধিকার করে তাহাকে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) বলে। অতএব n সংখ্যক পূর্ণতরঙ্গের অধিকৃত স্থানের দৈর্ঘ্য হইবে $n\lambda$, যাহা তরঙ্গের বেগ (V)। সুতরাং $V=n\lambda=\lambda/T$ ···(2·2c)

2-3 বিভিন্ন প্রকারের তরঙ্গ (Different types of waves) ঃ মাধ্যমের কণাগুলির কম্পন রেখার সহিত তরঙ্গের বিস্তার রেখার সম্বন্ধ বিচার করিয়া তরঙ্গকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়, **যথা**.—(a) তির্যক তরঙ্গ এবং (b) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ।

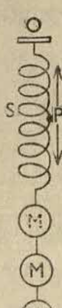
(a) **তির্যক তরঙ্গ** (Transverse wave) :—কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির সমষ্টিগত পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহাতে যদি

কণাগুলির কম্পনরেখা তরঙ্গের বিস্তাররেখার অভিলম্বের দিকে থাকে তাহা হইলে সেই তরঙ্গকে **তির্যক তরঙ্গ** বলে এবং কণাগুলির যে পর্যাবৃত্ত কম্পন হইতে থাকে তাহাকে **তির্যক কম্পন** বলে। এই প্রকার তরঙ্গে পর্যায়ক্রমে **তরঙ্গশীর্ষ** (crest) এবং **তরঙ্গপাদ** (trough) থাকে [2·1 (a) চিত্র দেখ]। তরঙ্গশীর্ষে কণার চরম সরণ ($=a$) যে দিকে হয়, তরঙ্গপাদে কণার চরম সরণ ($=a$) তাহার বিপরীত দিকে হয়। কাজেই তরঙ্গশীর্ষে এবং তাহার পরবর্তী তরঙ্গপাদে যে দুইটি কণা অবস্থান করে তাহাদের দশার পার্থক্য π হইবে, অর্থাৎ উহারা বিপরীত দশায় থাকিবে।

উদাহরণ :—(i) টান করিয়া বাঁধা কোন সরু তারের একটি কণাকে তারের দৈর্ঘ্যের সমকোণে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে যে আন্দোলন বা তরঙ্গ তারের দৈর্ঘ্য বরাবর অগ্রসর হইবে তাহাতে তারের কণাগুলির যে পর্যাবৃত্ত কম্পন হইবে তাহা তারের দৈর্ঘ্যের অভিলম্বের দিকে হইবে। অতএব তার বরাবর যে তরঙ্গ প্রসার লাভ করিল তাহাকে **তির্যক তরঙ্গ** বলা হয় এবং তারের কণাগুলির যে পর্যাবৃত্ত কম্পন হইবে তাহাকে **তির্যক কম্পন** বলা হয়।

(ii) স্থির জলের উপর একটি ঢিল ফেলিয়া দিলে জল আন্দোলিত হইবে এবং এই আন্দোলন (যাহাকে তরঙ্গ বলে) জলের অনুভূমিক তল বরাবর অগ্রসর হইবে। এই আন্দোলনের ফলে জলকণাগুলির পর্যাবৃত্ত কম্পন উল্লম্ব রেখায় হইবে যাহা তরঙ্গের বিস্তার রেখায় অভিলম্বের দিকে। সুতরাং জলের তলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হইল তাহা **তির্যক তরঙ্গ** এবং জলকণাগুলির পর্যাবৃত্ত কম্পন **তির্যক কম্পন** হইবে।

(b) **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** (Longitudinal waves) :—কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কণাগুলির সমষ্টিগত পর্যাবৃত্ত কম্পনের ফলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহাতে যদি কণাগুলির কম্পনরেখা, তরঙ্গের বিস্তাররেখার সমান্তরালে থাকে তাহা হইলে এই তরঙ্গকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলে এবং কণাগুলির যে পর্যাবৃত্ত কম্পন হয় তাহাকে **অনুদৈর্ঘ্য কম্পন** বলে। এই প্রকার তরঙ্গে পর্যায়ক্রমে **ঘনীভবন ও তনূভবন** থাকে [2·1(b) নং চিত্র দেখ]।



চিত্র 2.2 : অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ

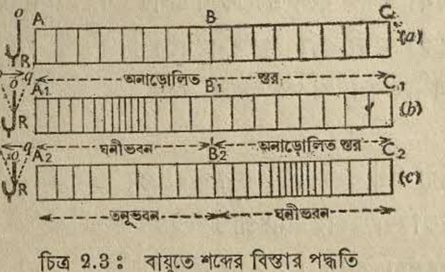
উদাহরণ :—(i) একটি লম্বা স্প্রিং-এর (S) উপর প্রান্ত একটি দৃঢ় অবলম্বনে (O) আটকাইয়া উহার নিম্নপ্রান্ত হইতে একটি ভার (M) ঝুলাইয়া দেওয়া হইল (2.2 নং চিত্র)। এক্ষণে ঐ ভারকে (M) নীচের দিকে কিছুদূর টানিয়া ছাড়িয়া দিলে একটি আন্দোলন স্প্রিং-এর উপরের দিকে অগ্রসর হইতে থাকিবে। স্প্রিং-এর এই আন্দোলনের ফলে উহার কোন কণার (P) স্পন্দন স্প্রিং-এর

দৈর্ঘ্য বরাবর হইতে থাকিবে। স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর যে আন্দোলন প্রসারলাভ করিল তাহাতে উহার কণাগুলির স্পন্দনও ঐ দৈর্ঘ্য বরাবর হইতেছে। কাজেই স্প্রিং-এর দৈর্ঘ্য বরাবর যে আন্দোলন অগ্রসর হইল তাহাকে **অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ** বলে এবং উহার কণাগুলির স্পন্দনকে **অনুদৈর্ঘ্য স্পন্দন** বলে।

(*ii*) কোন বাস্তব বস্তুর কম্পনে (ধরা যাক্, স্বরশলাকার কম্পনে) যখন শব্দের সৃষ্টি হয়, তখন সেই শব্দ বাতাসের মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গাকারে অগ্রসর হইতে থাকে [2.3(*c*) নং চিত্র দেখ]। এখানে তরঙ্গ যে রেখা বরাবর অগ্রসর হয় তাহার সমান্তরাল রেখায় বায়ুকণাগুলির স্পন্দন হয়। এজন্য বায়ুস্তরগুলি কোন স্থানে দূরে দূরে থাকিয়া একটি তনূভূত স্তরের সৃষ্টি করে আবার কোন স্থানে বায়ুস্তরগুলি ঘন সন্নিবিষ্ট থাকিয়া একটি ঘনীভূত স্তরের সৃষ্টি করে। ইহার ফলে তরঙ্গে পর্যায়ক্রমে তনূভবন এবং ঘনীভবন থাকে। কোন বায়ুকণার উপর দিয়া যখন ঘনীভবন এবং তনূভবন পর্যায়ক্রমে অতিক্রম করে তখন ঐ কণার সরণ, উহার সাম্য অবস্থানের দুই বিপরীত দিকে এবং তরঙ্গের বিস্তার রেখার সমান্তরালে হইতে থাকে। কাজেই বায়ুকণাগুলির যে স্পন্দন হয় তাহাকে অনুদৈর্ঘ্য স্পন্দন বলে।

2-4. বায়ুতে শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি ও তাহার বিস্তার-পদ্ধতি (Nature of sound waves in air and mechanism of its propagation) ঃ 2·3 *b*) পরিচ্ছেদের, উদাহরণ (*ii*)-এ বলা হইয়াছে যে বাতাসের মধ্যে শব্দ, অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গাকারে যায়, এবং ঐ তরঙ্গে ঘনীভবন এবং তনূভবন পর্যায়ক্রমে থাকে। শব্দের বিস্তারের সময় কিভাবে এইরূপ তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহার সংক্ষিপ্ত আলোচনা নিম্নে করা হইল।

মনে কর স্বরশলাকার বাহুদ্বয়ের কম্পনে শব্দের সৃষ্টি হইতেছে এবং উহার Ro বাহুর সামনে অনেকগুলি অনালোড়িত বায়ুস্তর অবস্থান করিতেছে [2.3(*a*) নং চিত্রে এই অনালোড়িত বায়ুস্তরগুলিকে সমদূরবর্তী সমান্তরাল সরলরেখা দ্বারা চিহ্নিত করা হইয়াছে]। শলাকার কম্পনের সময় যখন উহার Ro বাহু p হইতে q-এর দিকে যায় তখন উহার সামনের বায়ুস্তরগুলির উপর চাপ পড়ায় উহারা সংকুচিত হইয়া একটি ঘনীভূত স্তরে পরিণত হইবে [2·3(*b*) নং চিত্রের A_1B_1 অংশ]। কিন্তু শলাকার বাহুর বেগ উহার মধ্যক অবস্থানে (Ro) খুব বেশী এবং দুই প্রান্তিক অবস্থানে (Rp ও Rq) প্রায় শূন্য হওয়ায়



চিত্র 2.3 : বায়ুতে শব্দের বিস্তার পদ্ধতি

A_1B_1-এর মধ্যভাগের স্তরগুলির সংকোচন খুব বেশী হইবে এবং তাহার প্রান্তিক স্তরগুলির সংকোচন প্রায় কিছুই হইবে না [2·3(*b*) নং চিত্র]।

A_1B_1-এর বায়ুস্তরগুলি চাপমুক্ত হইবার জন্য উহারা তাহাদের পরবর্তী আর একটি সমান দৈর্ঘ্যের দ্বিতীয় স্তরে ঐ সংকোচন সঞ্চালিত করিবে। একই নিয়মে, দ্বিতীয় সংকুচিত স্তর তাহার পরবর্তী সমান দৈর্ঘ্যের তৃতীয় স্তরে ঐ সংকোচন সঞ্চালিত করিবে। এইভাবে সংকোচন এক স্তর হইতে তাহার পরবর্তী স্তরে নির্দিষ্ট বেগে সঞ্চালিত হইতে থাকিবে (যে বেগ মাধ্যমের স্থিতিস্থাপকতা ও ঘনত্বের উপর নির্ভর করে)।

শলাকার *Ro* বাহু যখন *q* হইতে *p*-এর দিকে ফিরিয়া আসিতে থাকে তখন ঐ বাহুর পশ্চাতে আংশিক শূন্যতার সৃষ্টি হয় যাহার ফলে একটি তনূভূত স্তরের সৃষ্টি হয় [2·3(*c*)নং চিত্রের A_2B_2 অংশ]। ঐ স্থানে পূর্বে যে ঘনীভূত স্তর ছিল তাহা এখন B_2C_2 স্থানে পৌঁছিয়াছে। শলাকার *Ro* বাহুর বেগ, উহার মধ্যক অবস্থানে বেশী হওয়ায় A_2B_2 স্তরের মধ্যভাগের স্তরগুলির প্রসারণ বেশী হইবে এবং উহার দুই প্রান্তিক স্তরগুলির প্রসারণ প্রায় কিছুই হইবে না। কিন্তু এই হাল্‌কা স্তরকে (A_2B_2) পূরণ করিবার জন্য উহার অগ্রবর্তী সমান দৈর্ঘ্যের দ্বিতীয় স্তর হইতে বাতাস ধাবিত হইয়া আসিবে এবং দ্বিতীয় স্তরও হাল্‌কা স্তরে পরিণত হইবে। এইভাবে তনূভবন একস্তর হইতে তাহার অগ্রবর্তী স্তরে প্রসারিত হইবে এবং ইহার বেগ, ঘনীভবনের অগ্রসর হওয়ার বেগের সমান হইবে।

অতএব শলাকার বাহুর একবার পূর্ণ কম্পনে একটি ঘনীভূত ও একটি তনূভূত স্তরের সৃষ্টি হয় এবং উহারা মাধ্যমের যে দৈর্ঘ্যের মধ্যে অবস্থান করে তাহাকে **তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য** বলে। এইভাবে বায়ুর প্রতিস্তরের উপর দিয়া পর্যায়ক্রমে ঘনীভবন এবং তনূভবন যায়, যাহার ফলে স্তরগুলির কম্পনরেখা, তরঙ্গের বিস্তাররেখার সমান্তরাল থাকে। সুতরাং বাতাসের মধ্যে শব্দ, অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গাকারে অগ্রসর হয়।

2-5. সচল তরঙ্গ এবং ইহার বৈশিষ্ট্য (Progressive waves and and its characteristics) :

অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গ (Undamped progressive wave) : যদি কোন অসীম সমস্বত্ব মাধ্যমে, কোন তরঙ্গের (তির্যক তরঙ্গ কিংবা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ) সৃষ্টি করা হয় তাহা হইলে সেই তরঙ্গ মাধ্যমের সর্বদিকে নির্দিষ্ট বেগে বিস্তারলাভ করিবে। এই প্রকার তরঙ্গকে **সচল তরঙ্গ** বলে। এই প্রকার তরঙ্গে প্রত্যেক মাধ্যম-কণার যে বেগ, ত্বরণ, শক্তি প্রভৃতির যে পর্যাবৃত্ত পরিবর্তন (periodic changes) হইতে থাকে তাহা একই প্রকারের। তরঙ্গস্থিত প্রতিটি কণার যদি পর্যায়কাল (T) এবং বিস্তার একই থাকে তাহা হইলে ঐরূপ তরঙ্গকে

অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গ বলে। প্রকৃত পক্ষে, তরঙ্গের উৎস হইতে যত দূরে যাওয়া যায় মাধ্যম-কণার বিস্তার এক্সপোনেন্সিয়েলি (exponentially) কমিতে থাকে। সুতরাং বাস্তবে প্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গ পাওয়া যায়।

অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গের সমীকরণ ঃ মনে কর সচল তরঙ্গস্থিত প্রত্যেক কণার সরল দোলগতি হইতেছে, অর্থাৎ তরঙ্গটি সরল দোলগতি সম্পন্ন তরঙ্গ। অতএব, t সেকেণ্ড সময়ে তরঙ্গের উৎসস্থিত কণার সরণ হইবে, $y=a \sin \omega t$।

এখানে $a=$কণার কম্পন-বিস্তার এবং $\omega=\dfrac{2\pi}{\text{কণার কম্পনকাল }(T)}$ এবং t সেকেণ্ড সময়ে ঐ কণার দশা ωt হইবে। কিন্তু তরঙ্গের উৎস হইতে এক তরঙ্গদৈর্ঘ্য (λ) দূরের কম্পনশীল কণার দশা ωt হইতে 2π দ্বারা কম হইবে। কাজেই তরঙ্গের উৎস হইতে x দূরত্বে অবস্থিত কণার কম্পন দশা ωt হইতে ($2\pi x/\lambda$) দ্বারা কম হইবে। অতএব, t সেকেণ্ড সময়ে, তরঙ্গের উৎস হইতে x দূরত্বে অবস্থিত কণার কম্পনের যে সরণ হইবে তাহা,

$$y=a \sin\left(\omega t-\frac{2\pi x}{\lambda}\right)=a \sin\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{\lambda}{T}t-x\right)=a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x) \quad \cdots(2\text{-}5a)$$

এখানে $\lambda/T=v=$তরঙ্গের বেগ। তরঙ্গের উৎস হইতে, যে-কোন দূরত্বের ($=x$) কণার যে-কোন সময়ে (t) যে সরণ হইবে তাহা (2-$5a$) সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে। কাজেই (2-$5a$) সমীকরণই হইবে অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গের সমীকরণ।

অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য (Characteristics of undamped progressive waves) ঃ—(i) অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গস্থিত প্রতিটি কণার স্পন্দন একই পর্যায়কালে (T) এবং একই বিস্তারে (a) হইতে থাকে।

(ii) মাধ্যমের মধ্য দিয়া যখন তরঙ্গ (তির্যক তরঙ্গ কিংবা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ) প্রসারলাভ করে তখন তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে তরঙ্গশীর্ষ কিংবা তরঙ্গপাদ এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে ঘনীভবন কিংবা তনূভবন একটি নির্দিষ্ট সময় ($=T=$প্রতিটি কণার কম্পনকাল) পর পর মাধ্যমের কোন এক নির্দিষ্ট বিন্দুকে অতিক্রম করিয়া যায়।

(iii) তির্যক তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ কিংবা তরঙ্গপাদ এবং অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ঘনীভবন কিংবা তনূভবন, একটি নির্দিষ্ট সময়ে ($=t$), তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের (λ) সরল গুণীতক দূরে দূরে (অর্থাৎ, λ, 2λ, 3λ, ইত্যাদি দূরে দূরে) অবস্থান করে।

(iv) তরঙ্গের উৎস হইতে, নির্দিষ্ট দূরে ($=x$) অবস্থিত, কোন কণার, কম্পন-দশা t সেকেণ্ড সময়ে হইবে $2\frac{\pi}{\lambda}$ ($vt-x$) [(2-$5a$) সমীকরণ দেখ]। ইহা দ্বারা বোঝা যাইতেছে যে নির্দিষ্ট দূরে (এখানে x স্থির থাকিবে) অবস্থিত কোন কণার কম্পনদশা কেবলমাত্র সময়ের ($=t$) উপর নির্ভর করিবে। আবার একটি নির্দিষ্ট

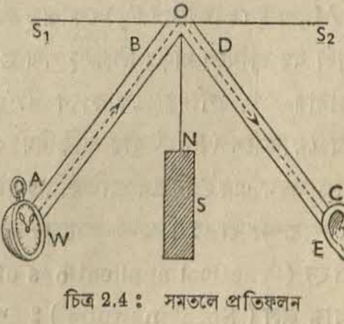
সময়ে (এখানে t স্থির থাকিবে) তরঙ্গের উপরিস্থিত বিভিন্ন কম্পনশীল কণার দশা, তরঙ্গের উৎস হইতে উহাদের দূরত্বের ($=x$) উপর নির্ভর করিবে। যদি তরঙ্গের উপরিস্থিত দুইটি কণার দূরত্ব, তরঙ্গের উৎস হইতে x_1 ও x_2 হয়, তাহা হইলে একটি নির্দিষ্ট সময়ে (যখন t স্থির থাকে) ঐ দুই কণার কম্পনদশার পার্থক্য হইবে,

$$\delta=\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x_1)-\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x_2)=\frac{2\pi}{\lambda}(x_2-x_1)$$

অথবা, $\delta=\frac{2\pi}{\lambda}\times$(দুইটি কণার মধ্যের দূরত্ব) ... ...(2-5 b)

2-6. শব্দ-তরঙ্গের প্রতিফলন (**Reflection of sound-waves**) **ঃ** কোন তরঙ্গ বাধাপ্রাপ্ত হইলেই উহার প্রতিফলন হয় এবং এই প্রতিফলন যে দুইটি নিয়মাধীনে হইয়া থাকে তাহার গুরুত্বপূর্ণটি হইল এই যে, তরঙ্গের আপতন কোণ = উহার প্রতিফলন কোণ। শব্দ তরঙ্গাকারে অগ্রসর হয় বলিয়া উহার প্রতিফলনও উপরের নিমানুযায়ী হইয়া থাকে যাহা নিম্নের পরীক্ষা দুইটি হইতে প্রমাণিত হইবে।

পরীক্ষা ঃ—(a) সমতলে প্রতিফলন ঃ একটি বড় ও মসৃণ কাষ্ঠফলককে (যাহার ছেদ $S_1 S_2$) সমতলের উপর খাড়াভাবে রাখা হইল [2.4 নং চিত্র]। এই কাষ্ঠফলকের সামনে দুইটি ফাঁপা চোঙকে (AB ও CD) অনুভূমিক অবস্থায় এমনভাবে রাখা হইল, যাহাতে উহাদের অক্ষরেখা কাষ্ঠ-ফলকের O বিন্দুতে মিলিত হয় এবং O বিন্দুতে কাষ্ঠফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব (ON) ঐ চোঙদ্বয়ের অক্ষরেখার সহিত সমান কোণ করিয়া থাকে ; অর্থাৎ $\angle AON$ যেন $\angle CON$-এর সহিত সমান হয়। দুই নলের মাঝখানে একটি কাঠের পরদা (S) রাখা আছে যাহাতে A হইতে C-তে শব্দ সোজাসুজি না যাইতে পারে।

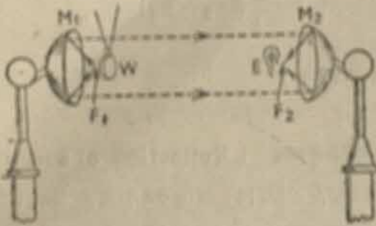


চিত্র 2.4 : সমতলে প্রতিফলন

এক্ষণে AB নলের A মুখের সামনে একটি শব্দসৃষ্টিকারী ঘড়িকে (W) রাখা হইল এবং CD নলের C মুখের সামনে কান (E) রাখা হইল। যখন $\angle AON$ ও $\angle CON$ কোণদ্বয় সমান থাকে তখন নলের C মুখের সামনে স্থাপিত কান ঘড়ির টিক্‌টিক্ শব্দ স্পষ্ট শুনিতে পাইবে কিন্তু CD নলকে দুইপাশে একটু সরাইলে ঘড়ির শব্দ আর শুনা যায় না। ইহা দ্বারা প্রমাণিত হইল যে শব্দ তরঙ্গ যখন প্রতিফলিত

হয় তখন উহার আপতন কোণ ($\angle AON$) এবং প্রতিফলন কোণ ($\angle CON$) সমান হয়।

(*b*) **অবতল তলে প্রতিফলন :** এই পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করা যাইবে যে কোন অবতল তলে আলোক-তরঙ্গ ও শব্দ তরঙ্গ একই নিয়মে প্রতিফলিত হয়।



চিত্র 2.5 : অবতল তলে প্রতিফলন

2.5 নং চিত্রে দুইটি অবতল দর্পণকে (M_1 ও M_2) পরস্পর মুখোমুখি করিয়া বেশ কিছু দূরে উহাদিগকে এমনভাবে রাখা হইয়াছে যাহাতে উহাদের অক্ষরেখা এক অনুভূমিক সরলরেখায় অবস্থান করে। M_1 দর্পণের ফোকাসে (F_1) একটি শব্দ-সৃষ্টিকারী ঘড়ি (W) রাখিলে, উহার শব্দ, M_2 দর্পণের ফোকাসে (F_2) কান (E) রাখিলে স্পষ্ট শুনা যাইবে কিন্তু অন্য কোনও স্থানে কান রাখিলে ঐ শব্দ শুনা যায় না।

ঘড়ি হইতে যে শব্দ তরঙ্গের উৎপত্তি হইবে তাহা M_1 দর্পণে প্রতিফলিত হইবার পর দ্বিতীয় দর্পণ M_2-এর উপর আপতিত হইবে এবং সেখান হইতে প্রতিফলিত হইয়া M_2-এর ফোকাসে (F_2) কেন্দ্রিভূত হইবে। কাজেই F_2 স্থানে কান বা কোন শব্দগ্রাহী যন্ত্র রাখিলে ঘড়ির টিক্‌টিক্ শব্দ শুনা যাইবে।

আবার M_1 দর্পণের ফোকাসে (F_1) কোন জলন্ত মোমবাতি রাখিলে M_2 দর্পণের ফোকাসে (F_2) উহার প্রতিবিম্ব দেখা যাইবে। অতএব শব্দ-তরঙ্গ এবং আলোক-তরঙ্গ একই নিয়মে প্রতিফলিত হইয়া থাকে।

2·7. শব্দের প্রতিফলনের (*a*) প্রয়োগ ও (*b*) প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত (Practical applications of reflection of sound) : (*a*) **কথা বলিবার নল** (Speaking tube) **:** শব্দের প্রতিফলনের প্রয়োগ দ্বারা, কোন দূরবর্তী স্থানে শব্দ বা কথা পৌঁছাইয়া দেওয়া হয়। ইহার জন্য একটি লম্বা নল ব্যবহার করা হয় যাহাকে **'কথা বলিবার নল'** (Speaking tube) বলে। নলের এক প্রান্তে শব্দের সৃষ্টি করিলে সেই শব্দতরঙ্গ নলের গায়ে বার বার প্রতিফলিত হইয়া নলের অপর প্রান্তে পৌঁছায় [2.6নং চিত্র]। শব্দতরঙ্গ বাহিরে ছড়াইয়া পড়িতে পারে না বলিয়া শব্দের প্রাবল্য নলের অপর প্রান্তে খুব বেশী থাকে।



চিত্র 2.6 : কথা বলিবার নল

(i) স্টীমারের একপ্রান্ত হইতে অপর প্রান্তে কথা বলিতে কিংবা বড় বাড়ির এক তলা হইতে অন্য তলায় কথাবার্তা বলিতে এইরূপ নল ব্যবহৃত হয়।

(ii) ডাক্তারদের বুক পরীক্ষার যন্ত্রে (stethoscope) এইরূপ ব্যবস্থা থাকে। বুকের শব্দ হইতে যে তরঙ্গের উৎপত্তি হয় তাহা দুইটি সরু নলের মধ্যে বারবার প্রতিফলিত হইয়া দুই কানে পৌঁছায় এবং শব্দ স্পষ্ট শুনা যায়।

(b) **প্রতিধ্বনি** (Echo): প্রতিধ্বনি, শব্দের প্রতিফলনের একটি প্রাকৃতিক দৃষ্টান্ত। শব্দের কোন উৎস হইতে উৎপন্ন তরঙ্গমালা যদি দূরস্থ কোন প্রতিফলক হইতে প্রতিফলিত হইয়া শব্দের উৎসের কাছে ফিরিয়া আসে, তাহা হইলে শব্দের উৎসের কাছে দণ্ডায়মান কোন শ্রোতার কানে মূলধ্বনির যে পুনরাবৃত্তি হইবে তাহাকে **প্রতিধ্বনি** বলে।

প্রতিধ্বনিকে, মূলধ্বনী হইতে পৃথকভাবে শুনা তখনই সম্ভব যখন শব্দের উৎস হইতে প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব এমন হইবে যে, যেইমাত্র মূলধ্বনি শেষ হইবে সেই মাত্র প্রতিফলিত শব্দ মূলধ্বনির কাছে আসিয়া পৌঁছাইবে। বিভিন্ন প্রকার শব্দের জন্য প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব বিভিন্ন হইবে। শব্দের উৎস, ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ণ শব্দ (momentary sharp sound) অথবা পদাংশযুক্ত বোধগম্য শব্দ (syllabic articulate sound) উৎপন্ন করিতে পারে।

(i) **ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ণ শব্দের প্রতিধ্বনি**—ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ণ শব্দ (যেমন বন্দুক ছোড়ার শব্দ) মুহূর্তে উৎপন্ন হইয়া মুহূর্তেই শেষ হইয়া যায় কিন্তু ইহার অনুভূতি, শব্দ শেষ হইবার পরেও $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড পর্যন্ত মস্তিষ্কের মধ্যে থাকে যাহাকে **শ্রুতিনির্বন্ধ** (persistence of hearing) বলে। কাজেই এইরূপ ক্ষণস্থায়ী শব্দের প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শুনিবার জন্য যদি প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব d হয় তাহা হইলে $2d/V = \frac{1}{10}$ হইবে। যদি শব্দের বেগ V-কে 1120 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে ধরা হয় তাহা হইলে $d = \frac{V}{20} = \frac{1120}{20} = 56$ ফুট।

(ii) **পদাংশযুক্ত শব্দের প্রতিধ্বনি**—দেখা গিয়াছে যে, কোন মানুষ প্রতি সেকেণ্ডে পাঁচটি পদাংশের বেশী উচ্চারণ করিতে পারে না। সুতরাং যে লোক খুব জোর কথা বলিতে পারে তাহার একটি পদাংশ উচ্চারণ করিতে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড সময় লাগিবে [শ্রুতিনির্বন্ধের $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময় ধরিয়া]। কাজেই কোন লোক যদি পর পর n সংখ্যক পদাংশ উচ্চারণ করে [যাহার জন্য সময় লাগিবে $n/5$ সেকেণ্ড] তাহা হইলে তাহার সবগুলির প্রতিধ্বনি, পরপর স্পষ্ট শুনিবার জন্য প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব d হইলে যাহাতে $\frac{2d}{V} = \frac{n}{5}$ হইতে পারে। অথবা, $d = \frac{nV}{10} = \frac{n \times 1120}{10} = 112n$।

অতএব, একমাত্রিক, দ্বিমাত্রিক, প্রভৃতি শব্দের জন্য প্রতিফলকের ন্যূনতম দূরত্ব যথাক্রমে 112 ফুট, 224 ফুট, প্রভৃতি হইবে।

2·8. **প্রতিধ্বনিজনিত কয়েকটি ঘটনা এবং প্রতিধ্বনির প্রয়োগ (Some phenomena on echo and application of echo)** : (*a*) **প্রতিধ্বনিজনিত কয়েকটি ঘটনা** :—(*i*) **শব্দের অনুরণন** (Reverberation of sound).—যদি আসবাবপত্র শূন্য কোন বড় ঘরে শব্দের সৃষ্টি করা যায়, তাহা হইলে ঐ শব্দতরঙ্গ $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের কম সময়ের মধ্যে ঘরের দেওয়াল হইতে প্রতিফলিত হইয়া মূল শব্দের সহিত যুক্ত হয়। ইহার ফলে মূল শব্দ অনেকক্ষণ স্থায়ী হয়। ঘরের দেওয়ালগুলি হইতে মূলশব্দের পুনঃপুনঃ প্রতিফলনের ফলে, মূলশব্দের স্থায়িত্বকাল বৃদ্ধির ঘটনাকে **অনুরণন** বলে। এইরূপ ঘটনা ঘরের মধ্যস্থ লোকের পক্ষে খুবই বিরক্তিকর। এই অনুরণন বন্ধ করিবার জন্য ঘরটি আসবাবপত্র দ্বারা ভর্তি করিতে হইবে এবং ঘরের দেওয়াল ও ছাদ শব্দতরঙ্গ শোষণকারী বস্তু দ্বারা আবৃত করিতে হইবে। আসবাবপত্রগুলি এবং দেওয়ালের আবরণ, উহাদের উপর আপতিত শব্দতরঙ্গ-শোষণ করিয়া লয় যাহার ফলে অনুরণন বন্ধ হয়। সিনেমা হলে এইরূপ ব্যবস্থা অবলম্বন করা হয় যাহাতে শব্দের অনুরণন বন্ধ হয়।

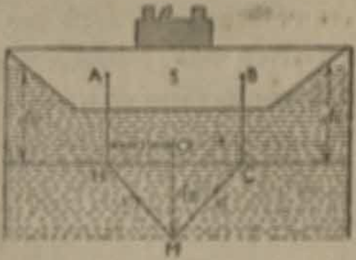
(*ii*) মেঘের যে গুরুগুরু শব্দ শুনা যায় তাহা বিভিন্ন স্তরের মেঘ হইতে মূলশব্দের বারবার প্রতিফলনের জন্যই হইয়া থাকে।

(*iii*) যখন কোন লোক দুই সমান্তরাল পাহাড়ের মধ্যে দাঁড়াইয়া কথা বলে তখন ঐ কথার জন্য যে শব্দতরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহা দুই পাহাড়ের গা হইতে বারবার প্রতিফলিত হইয়া একই কথার পুনরাবৃত্তি করিতে থাকে।

(*iv*) অনেকগুলি একই প্রকার প্রতিফলককে যদি সমব্যবধানে রাখা হয় তাহা হইলে প্রথম প্রতিফলকের সামনে কোন শব্দের সৃষ্টি করিলে ঐ শব্দতরঙ্গ বিভিন্ন প্রতিফলক হইতে একটি নিয়মিত সময় পরপর প্রতিফলিত হইয়া আসিয়া শ্রোতার কানে (শ্রোতা মূলধ্বনির কাছে অবস্থিত) একটি সুরসমৃদ্ধ শব্দের (musical sound) সৃষ্টি করিবে। যে প্রতিধ্বনি, নিয়মিত সময় পরপর গঠিত হইয়া সুর-সমৃদ্ধের সৃষ্টি করে তাহাকে **সুর-সমৃদ্ধ প্রতিধ্বনি** (musical echo) বলে।

(*b*) **প্রতিধ্বনির প্রয়োগ** :—(*i*) **সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়** :—সমুদ্রের জলের মধ্যে প্রচণ্ড শব্দের সৃষ্টি করিয়া এবং ঐ শব্দের সমুদ্রতলে প্রতিফলন ঘটাইয়া সমুদ্রের গভীরতা ($=d$) নির্ণয় করা হয়। এজন্য সমুদ্রপৃষ্ঠে একটি জাহাজ (S) লাগাইয়া তাহার একপ্রান্ত (A) হইতে একটি শব্দগ্রাহক যন্ত্র (H) [যাহাকে হাইড্রোফোন বলে] এবং অপর প্রান্ত (B) হইতে একটি বারুদপূর্ণ বাক্স (C)

সমুদ্রপৃষ্ঠ হইতে d_1 গভীরতায় ঝুলাইয়া রাখা হয় [2·7 নং চিত্র]। বারুদে আগুন ধরাইলে যে প্রচণ্ড শব্দ হইবে তাহার এক অংশ, শব্দসৃষ্টির t_1 সেকেণ্ড পর, সোজাপথে (যাহার দৈর্ঘ্য $CH=CO+OH=2y$) শব্দের গ্রাহকযন্ত্রে (H) পৌঁছিবে। ঐ প্রচণ্ড শব্দের অপর অংশ বাঁকা পথে ($CM=x$) যাইয়া সমুদ্রতলের M স্থানে প্রতিফলিত হইবার পর MH ($=x$) পথে গ্রাহকযন্ত্রে পৌঁছিবে এবং ইহার জন্য মোট সময় লাগিবে t_2 সেকেণ্ড ($t_2>t_1$)। সুতরাং,



চিত্র 2.7 : সমুদ্রের গভীরতা নির্ণয়

$CO=OH=y=v_w\times t_1/2$ এবং $CM=MH=x=v_w\times t_2/2$ [$v_w=$ সমুদ্রজলে শব্দের বেগ]। যদি $OM=d_2$ হয় তাহা হইলে,

$$\text{সমুদ্রের গভীরতা}=d=d_1+d_2=d_1+\sqrt{x^2-y^2} \qquad \cdots(2\text{·}8a)$$

$$\text{অথবা, } d=d_1+\frac{v_w}{2}\sqrt{t_2^2-t_1^2}$$

t_2 ও t_1 ঘড়ির সাহায্যে নির্ণয় করিয়া এবং d_1 জানিয়া d নির্ণয় করা যাইবে যদি সমুদ্রজলে শব্দের বেগ v_w জানা থাকে। সমুদ্রের বিভিন্ন স্তরের জল সংগ্রহ করিয়া, পরীক্ষাগারে ঐ সব জলের মধ্যে শব্দের বেগ নির্ণয় করিয়া তাহাদের গড় লইলে v_w-এর মান জানা যাইবে।

এই পরীক্ষায় গ্রাহকযন্ত্র যে প্রতিধ্বনি লিপিবদ্ধ করিবে তাহা স্পষ্ট হইলে বুঝিতে হইবে যে সমুদ্রতল খুব-শক্ত এবং অনেকটা সমতল আর যদি প্রতিধ্বনি অস্পষ্টভাবে লিপিবদ্ধ হয় তাহা হইলে সমুদ্রতল কর্দমাক্ত এবং উঁচু-নীচু আছে বুঝিতে হইবে।

(ii) ভূ-পৃষ্ঠের শক্ত স্তরের নীচে, তৈলসমৃদ্ধ কোন নরম স্তর আছে কিনা তাহাও প্রতিধ্বনির সাহায্যে জানা যায়। ভূ-পৃষ্ঠের উপরে কোনও স্থানে প্রচণ্ড শব্দের সৃষ্টি করিলে ঐ শব্দ ভূ-পৃষ্ঠের নীচের নরম স্তর হইতে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসিলে ঐ প্রতিফলিত শব্দকে ভূ-পৃষ্ঠের অপর স্থানে রক্ষিত একটি শব্দগ্রাহক যন্ত্র (একপ্রকার ধরেনো সীসমোগ্রাফ্) ধরা পড়িবে। যত সময় পর শব্দ ফিরিয়া আসিল তাহা জানিয়া লইয়া ঐ তৈল সমৃদ্ধ স্তরের গভীরতা স্থির করা হয়।

(iii) প্রতিধ্বনির সাহায্যে জাহাজের নাবিকেরা, দূরে কোন পাহাড় বা স্থল বা ভাসমান হিমশৈল আছে কিনা জানিয়া লয়। এই বাধাগুলি খুব বড় না হওয়ায় শব্দোত্তর-তরঙ্গের প্রতিফলন দ্বারা প্রতিধ্বনির সৃষ্টি করা হয়।

2-9. শব্দ-তরঙ্গের প্রতিসরণ (Refraction of sound waves): কোন অগ্রগামী সমতল তরঙ্গের (plane waves) বেগ যখন একটি তলের দুইপাশে ভিন্ন মানের হয়, তখন ঐ তরঙ্গ, তলের এক দিক হইতে অপর দিকে যাওয়ার সময় উহার (তরঙ্গের) অভিলম্বের দিক্‌-পরিবর্তন হইয়া থাকে যাহাকে শব্দ-তরঙ্গের **প্রতিসরণ** বলে (অবশ্য যদি তরঙ্গের অভিলম্ব তলের লম্বের দিকে না থাকে)।

তলের দুইপাশে শব্দ-তরঙ্গের বেগের পরিবর্তন দুইভাবে হইতে পারে, **যথা**.—(*i*) মাধ্যমের পরিবর্তনের জন্য (যেমন তলের একপাশে বাতাস এবং অপর পাশে জল) কিংবা (*ii*) একই মাধ্যমের অবস্থার পরিবর্তনের জন্য (যেমন তলের দুই পাশের বায়ুস্তরগুলির বেগ ও উষ্ণতার তারতম্যের জন্য)। শব্দতরঙ্গ যখন তলের একপাশ হইতে অপর পাশে যায় তখন তাহার অভিলম্ব, তলের লম্বের দিকে কিংবা লম্ব হইতে দূরে সরিয়া যাইবে যদি তরঙ্গবেগ তলের দ্বিতীয় পাশে যথাক্রমে কম কিংবা বেশী হয়। তরঙ্গের অভিলম্ব যদি তলের লম্বের সহিত একপাশে ϕ_1 কোণ এবং অপর পাশে ϕ_2 কোণ উৎপন্ন করে তাহা হইলে $\frac{\sin\phi_1}{\sin\phi_2}=\frac{v_1}{v_2}$ হইবে। এখানে $v_1=$ তলের প্রথম পাশে শব্দ-তরঙ্গের বেগ এবং $v_2=$ তলের দ্বিতীয় পাশে শব্দ-তরঙ্গের বেগ।

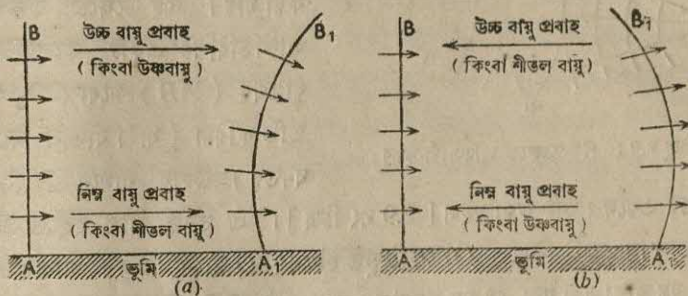
2-10. বায়ুর বিভিন্ন স্তরের বেগ ও উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য শব্দ-তরঙ্গের প্রতিসরণ:

(*a*) **বায়ু-প্রবাহের জন্য শব্দ-তরঙ্গের প্রতিসরণ**:—মনে কর কোন উল্লম্ব সমতল শব্দ-তরঙ্গ (AB) ভূমির সমান্তরালে বাতাসের মধ্যে বামদিক হইতে ডানদিকে একটি নির্দিষ্ট বেগে যাইতেছে। যদি বায়ু-প্রবাহের সৃষ্টি হয় তাহা হইলে ঐ প্রবাহের বেগ, নীচের স্তর হইতে উপরের স্তরের দিকে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পাইবে।

(*i*) যদি বায়ু-প্রবাহ শব্দের গতির অভিমুখে হইতে থাকে [2.8 (*a*) নং চিত্র] তাহা হইলে শব্দ-তরঙ্গের নিম্নাংশের বেগ কম হইবে এবং উপরাংশের বেগ বেশী হইবে। একটি নির্দিষ্ট সময় পর, শব্দের নিম্নাংশ যতদূর (AA_1) যাইবে তাহা অপেক্ষা উহার উপরাংশ বেশী দূর (BB_1) যাইবে [অর্থাৎ, $BB_1>AA_1$]। ইহার ফলে তরঙ্গের অভিলম্ব ভূমির দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং শব্দের উৎস হইতে অনেক দূরেও শব্দ শুনা যাইবে [2.8 (*a*) চিত্র]।

(*ii*) যদি বায়ু-প্রবাহ শব্দের গতির বিপরীত দিকে হইতে থাকে [2.8 (*b*) নং চিত্র] তাহা হইলে তরঙ্গের নিম্নাংশ অপেক্ষা উপরাংশের বেগ কম হইবে। কাজেই নির্দিষ্ট সময় পর তরঙ্গের নিম্নাংশ যতদূর (AA_1) যাইবে তাহা অপেক্ষা উহার

উপরাংশ কমদূর (BB_1) যাইবে [অর্থাৎ, $AA_1 > BB_1$]। ইহার ফলে তরঙ্গের অভিলম্ব উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং শব্দের উৎসের নিকটে দণ্ডায়মান লোকও ঐ শব্দ শুনিতে পাইবে না, কারণ শব্দতরঙ্গ মানুষের মাথার উপর দিয়া চলিয়া যাইবে।



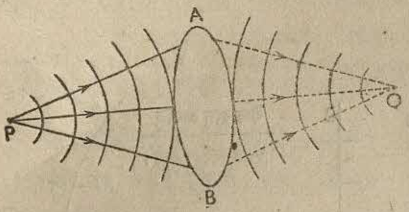
চিত্র 2·8 : বায়ুপ্রবাহ ও উষ্ণতার পার্থক্য-জনিত শব্দতরঙ্গের প্রতিসরণ

(*b*) **বিভিন্ন বায়ুস্তরের উষ্ণতার পার্থক্যের জন্য শব্দ-তরঙ্গের প্রতিসরণ** ঃ—মাটির আপেক্ষিক তাপ খুব কম হওয়ায়, ভূমিসংলগ্ন বায়ুস্তর উপরের বায়ুস্তর অপেক্ষা, রাত্রে বেশী ঠাণ্ডা হইবে এবং দিনে বেশী গরম হইবে। কিন্তু শব্দের বেগ, ঠাণ্ডা বাতাস অপেক্ষা গরম বাতাসে বেশী হয়। এজন্য শব্দতরঙ্গের বেগ, রাত্রে উপরের বায়ুস্তরে বেশী হইবে এবং দিনে ভূমিসংলগ্ন বায়ুস্তরে বেশী হইবে। ধরা যাক্‌, কোন উল্লম্ব সমতল শব্দ-তরঙ্গ (AB) বামদিক হইতে ডানদিকে বাতাসের মধ্যে যাইতেছে।

(*i*) রাত্রে ভূমি বেশী ঠাণ্ডা হওয়ায়, উপরের বায়ুস্তরে শব্দের বেগ বেশী হইবে এবং একটি নির্দিষ্ট সময় পর তরঙ্গের উপরাংশ বেশী দূর (BB_1) যাইবে এবং নিম্নাংশ কম দূর (AA_1) যাইবে (অর্থাৎ, $BB_1 > AA_1$) [2.8 (*a*) নং চিত্র]। ইহার ফলে তরঙ্গের অভিলম্ব নীচের দিকে বাঁকিয়া যাইবে এবং শব্দ উৎস হইতে অনেক দূরেও শুনা যাইবে। এজন্য রাত্রিবেলায় অনেক দূরের শব্দ স্পষ্ট শুনা যায়।

(*ii*) দিনের বেলায় ভূমি বেশী গরম হওয়ায় ভূমিসংলগ্ন বায়ুস্তরে শব্দের বেগ বেশী হইবে এবং একটি নির্দিষ্ট সময়ের পর তরঙ্গের নিম্নাংশ বেশী দূর (AA_1) যাইবে এবং উপরাংশ কমদূর (BB_1) যাইবে (অর্থাৎ, $AA_1 > BB_1$) [2.8 (*b*) নং চিত্র]। ইহার ফলে তরঙ্গের অভিলম্ব উপরের দিকে বাঁকিয়া যাইবে। শব্দের উৎসের কাছাকাছি লোকের মাথার উপর দিয়া শব্দ-তরঙ্গ চলিয়া যাওয়ায় ঐ লোক উৎসের শব্দ শুনিতে পাইবে না। এজন্য দিনের বেলায় শব্দ বেশী দূরে যায় না।

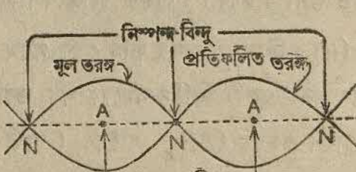
(c) **শব্দের প্রতিসরণ দেখাইবার পরীক্ষা** :—ঘন মাধ্যম দ্বারা উত্তল লেন্স গঠন করিয়া যেমন আলোকরশ্মিকে অভিসারী করা যায়, সেইরূপ শব্দতরঙ্গের ক্ষেত্রেও ঘন মাধ্যম দ্বারা উত্তল লেন্স গঠন করিয়া শব্দতরঙ্গকে অভিসারী করা যায়। এই উদ্দেশ্যে, উত্তললেন্স আকৃতিবিশিষ্ট একটি কলোডিয়নের ব্যাগের (AB) মধ্যে CO_2 গ্যাস ভর্তি করিয়া (যাহা বাতাস অপেক্ষা ঘনতর) উহার সামনে P বিন্দুতে শব্দোত্তর তরঙ্গের সৃষ্টি করা হইল [2.9 নং চিত্র]। ঐ তরঙ্গ ব্যাগ হইতে নির্গত হইবার অপর একটি বিন্দুতে (Q) কেন্দ্রিভূত হইবে। Q স্থানে তরঙ্গের অস্তিত্ব একটি বিশেষ যন্ত্র দ্বারা ধরা যায়, যে যন্ত্র শব্দোত্তর তরঙ্গের উপস্থিতি সনাক্ত করিতে সক্ষম।



চিত্র 2.9 : শব্দ-তরঙ্গকে অভিসারী-করণ

2-11. তরঙ্গের উপরিপাতন (Superposition of waves) ঃ যখন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের কোন কণার উপর দুই বা ততোধিক তরঙ্গশ্রেণীর উপরিপাতন হয় তখন প্রত্যেক তরঙ্গের জন্য কণার যে স্বতন্ত্র সরণ হয় তাহা যদি বেশী না হয় তাহা হইলে ঐ সরণগুলির ভেক্টর-যোগফলই হইবে ঐ কণার লব্ধি সরণ। আরও ধরিয়া লওয়া হয় যে একই কণার উপর তরঙ্গগুলির উপরিপাতন হইলেও উহাদের প্রত্যেকের নিজস্ব বৈশিষ্ট্য (যেমন বিস্তার, কম্পাঙ্ক, প্রভৃতি) বজায় থাকে। যখন দুইটি তরঙ্গ একটি কণার উপর আপতিত হয় তখন সেই দুইটি তরঙ্গশ্রেণী, একই উৎস হইতে কিংবা দুইটি বিভিন্ন উৎস হইতে সৃষ্ট হইতে পারে। শব্দ-তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে যে সব ঘটনা দেখা যায় তাহারা হইল, (a) **স্থাণু-তরঙ্গ** (Stationary waves), (b) **ব্যতিচার** (Interference), (c) **স্বরকম্প** (Beats), প্রভৃতি। এগুলিকে আমরা পর পর আলোচনা করিব এবং ইহাদের প্রয়োগ সম্বন্ধেও বলিব।

2-12. স্থাণু-তরঙ্গ (Stationary waves) ঃ যখন দুইটি সর্বসম সচল তরঙ্গশ্রেণী, একই মাধ্যমের একই সরলরেখার বিপরীত দিক হইতে একই বেগে অগ্রসর হয়, তখন তাহাদের উপরিপাতনের ফলে যে তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহাকে **স্থাণু-তরঙ্গ** বলে।



চিত্র 2.10 : স্থাণু-তরঙ্গ গঠন

এইরূপ উপরিপাতনের ফলে মাধ্যমের কতকগুলি সমদূরবর্তী-কণা (N) [এই সমদূরত্ব=(তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ)/2] সব সময় স্থির থাকে যাহাদিগকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (Nodes) বলে। আবার যে-কোন দুইটি

নিকটতম নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যস্থানে একটি করিয়া কণা (A) পাওয়া যায় যাহাদের কম্পন-বিস্তার সর্বাপেক্ষা বেশী [2.10 নং চিত্র]। এই কণাগুলিকে **সুস্পন্দ বিন্দু** (Antinode) বলে। সুস্পন্দ বিন্দুগুলিও সমদূরত্ব সম্পন্ন এবং দুইটি নিকটতম সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব=(তরঙ্গ দৈর্ঘ্য λ) 2। একটি সুস্পন্দ বিন্দু ও তাহার নিকটতম নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব $=\lambda/4$, এখানে $\lambda=$তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য।

স্থাণু-তরঙ্গের গঠন তত্ত্ব ঃ যখন কোন সীমাবদ্ধ সমসত্ত্ব মাধ্যমে তরঙ্গশ্রেণী (তির্যক কিংবা অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গশ্রেণী) সৃষ্টি করা হয় তখন এই মূল তরঙ্গশ্রেণী, সীমাবদ্ধ মাধ্যমের দুই প্রান্ত হইতে প্রতিফলিত হইয়া যে প্রতিফলিত শব্দতরঙ্গের সৃষ্টি করিবে, তাহা মূল তরঙ্গশ্রেণীর সর্বসম, বিপরীতমুখী এবং একই সরলরেখায় একই বেগে অগ্রসর হইতে থাকিবে। কাজেই মূল তরঙ্গশ্রেণী এবং তাহার প্রতিফলিত তরঙ্গশ্রেণীর উপরিপাতনের ফলে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে যাহাতে স্থাণু-তরঙ্গের সমস্ত বৈশিষ্ট্যগুলি পরিস্ফুট হইয়া উঠিবে।

2-13. স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলির ব্যাখ্যা (Explanation of the characteristics of Stationary waves) ঃ

(a) **স্থাণু-তরঙ্গের সমীকরণ দ্বারা ঃ**—মনে কর দুইটি বিপরীতগামী সর্বসম সচল তরঙ্গ, একই সময়ে ($=t$) একটি কণার উপর আপতিত হইয়া উহারা স্বতন্ত্রভাবে কণাকে যে দূরত্বের দ্বারা সরাইল তাহা y_1 ও y_2। কাজেই ঐ সময়ে ($=t$) কণার যে লব্ধি সরণ হইবে তাহা $y=y_1+y_2$। অথবা,

$$y=a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt-x)+a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt+x)\text{ [(2-5a) সমীকরণ দেখ]}$$

$$\text{অথবা, } y=2a\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}\cos\frac{2\pi x}{\lambda}=A\sin\frac{2\pi vt}{\lambda} \qquad \cdots(2\text{-}13a)$$

$$\left[A=2a\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\right] \cdots(2\text{-}13a')$$

(2-13a) সমীকরণ স্থাণু-তরঙ্গের সমীকরণ নির্দেশ করে এবং উহা হইতে স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নলিখিতভাবে অনুধাবন করা যায়।

স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য ঃ—(i) একটি নির্দিষ্ট সময়ে (t ধ্রুবক কিন্তু x বিভিন্ন) বিভিন্ন কণার কম্পন-বিস্তার (A) বিভিন্ন হইবে। (ii) একটি নির্দিষ্ট কণার (x ধ্রুবক কিন্তু t বিভিন্ন) বিভিন্ন সময়ে সরণ (y) বিভিন্ন হইবে। (iii) কতকগুলি কণার কম্পন বিস্তার $A=\pm 2a$ হইবে যাহাদের জন্য $\cos 2\pi x/\lambda=\pm 1$। অথবা $x=n\lambda/2$ $n=0,1,2,3,$ ইত্যাদি]। সুতরাং যে সব কণাগুলির অবস্থান $x=n\lambda/2$ সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হয় তাহাদের কম্পন-বিস্তার উচ্চতম ($\pm 2a$) হয়। এই কণাগুলির অবস্থান-বিন্দুকে

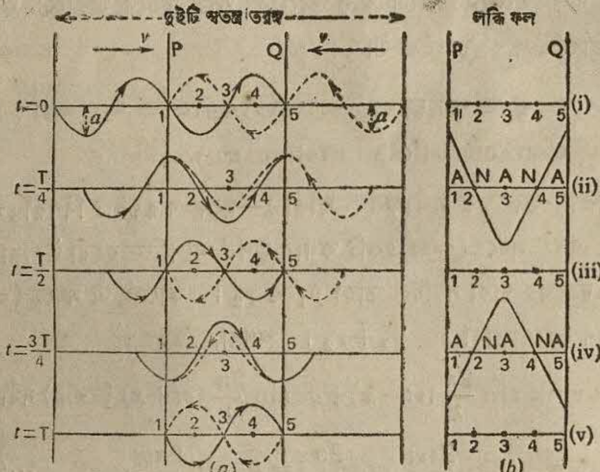
সুস্পন্দ-বিন্দু (Antinode) বলে যাহাদের দুইটির মধ্যের ন্যূনতম দূরত্ব $\lambda/2$।

(*iv*) কতকগুলি কণা, সর্ব সময়ের জন্য স্থির থাকে যাহাদের জন্য $\cos 2\pi x/\lambda = 0$।

অথবা, $x = (2n+1)(\lambda/4)$ [$n = 0,1,2,3,$ ইত্যাদি]।

সুতরাং যে কণাগুলির অবস্থান $x = (2n+1)\lambda/4$ সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হয় তাহারা সর্ব সময়ে স্থির থাকে। এই কণাগুলির অবস্থান বিন্দুকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (Node) বলে যাহাদের দুইটির মধ্যের ন্যূনতম দূরত্ব $\lambda/2$। কিন্তু একটি সুস্পন্দ বিন্দু এবং তাহার নিকটতম নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যের দূরত্ব $= \lambda/4$।

(*b*) **লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা** :—মনে কর দুইটি সর্বসম, সরল দোল গতি সম্পন্ন তির্যক তরঙ্গ (যাহাদের পর্যায়কাল T এবং বিস্তার a) একই সরলরেখায় বিপরীত দিকে (একটি PQ অভিমুখে এবং অপরটি QP অভিমুখে) একই বেগে



চিত্র 2.11 : লেখর সাহায্যে স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য

অগ্রসর হইতেছে। এই দুই বিপরীতগামী তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে মাধ্যমের PQ দৈর্ঘ্যের মধ্যস্থ কণাগুলির (2.11নং চিত্রে, 1,2,3, 4 ও 5 এই পাঁচটি কণা দেখান হইয়াছে) বিভিন্ন সময়ে যে লব্ধি অবস্থা পাওয়া যাইবে তাহা 2·11(*b*)নং চিত্রে পৃথকভাবে দেখান হইয়াছে। বিভিন্ন সময়ে, যথা$=0, T/4, 2T/4, 3T/4$ ও T সময়ে PQ দৈর্ঘ্যের মধ্যে দুই বিপরীতগামী তরঙ্গ যেরূপ অবস্থায় থাকিবে এবং ঐ দৈর্ঘ্যের মধ্যস্থ কণাগুলি যেরূপ লব্ধি অবস্থায় আসিবে তাহা যথাক্রমে 2·11(*a*) ও 2·11(*b*) চিত্রে পরপর দেখান হইয়াছে। 2·11(*b*)নং চিত্রে, PQ দৈর্ঘ্যের মধ্যস্থ কণাগুলির যে লব্ধি অবস্থা দেখান হইয়াছে তাহা হইতে যে সব সিদ্ধান্তে আসা যায় তাহা নিম্নে বিবৃত হইল এবং ঐগুলিই স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য হইবে।

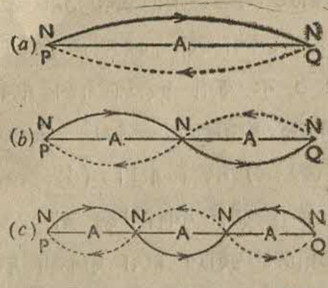
স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য : (1) 0, $T/2$, ও T সময়ে, PQ দৈর্ঘ্যের মধ্যস্থ সমস্ত কণাগুলি সাময়িকভাবে স্থির থাকে [2·11 (b) (i , (iii) ও (v)নং চিত্র]। (2) $T/4$ সময়ে, 1 ও 5নং কণা দুইটির সরণ সর্বোচ্চ পজিটিভ ($+2a$) হয় এবং 3নং কণার সরণ সর্বোচ্চ নেগেটিভ ($-2a$) হয়। কিন্তু 2 ও 4নং কণা দুইটি স্থির থাকে [2·11(b) (ii) নং চিত্র]। (3) $3T/4$ সময়ে, 1 ও 5 নং কণা দুইটির সরণ সর্বোচ্চ নেগেটিভ ($-2a$) হয় এবং 3নং কণার সরণ সর্বোচ্চ পজিটিভ ($+2a$)। এবারেও 2 ও 4 নং কণা দুইটি স্থির থাকিতেছে [2.11 (b) (iv) নং চিত্র]। (4) অতএব এক পর্যায়কাল সময়ের ($=T$) মধ্যে 2 ও 4নং কণা দুইটি সর্বদা স্থির থাকিতেছে যাহাদিগকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (N) বলে এবং উহাদের দুইটির মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব $\lambda/2$। (5) 1,3 ও 5 নং কণা তিনটির কম্পন-বিস্তার $\pm 2a$ হইতেছে যাহাদিগকে **সুস্পন্দ বিন্দু** (A) বলে এবং উহাদের দুইটির মধ্যে ন্যূনতম দূরত্ব $\lambda/2$। (6) একটি সুস্পন্দ বিন্দু (1নং কণা) এবং উহার নিকটতম নিস্পন্দ বিন্দুর (2নং কণা) মধ্যস্থ দূরত্ব $\lambda/4$। উল্লিখিত সিদ্ধান্তগুলিই স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য।

2-14. তারের তির্যক কম্পন (Transverse vibrations of string) :

(1) **স্থাণু-তরঙ্গের গঠন** :—যখন টান করিয়া বাঁধা, l দৈর্ঘ্যের ($l=PQ$) সরু স্টীলের তারকে উহার অভিলম্বের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়া হয় তখন ঐ তারে তির্যক তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, যাহা তারের দুই দৃঢ় প্রান্ত হইতে প্রতিফলিত হইয়া মূল-তরঙ্গের উপর আপতিত হয়। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ, মূল তরঙ্গের সহিত সর্বসম এবং ইহা একই তারে মূল তরঙ্গের বিপরীত দিকে অগ্রসর হইতে থাকে। কাজেই মূল তরঙ্গ এবং প্রতিফলিত তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে **স্থাণু-তরঙ্গের** সৃষ্টি হইবে যাহাতে তারের দুই বদ্ধপ্রান্ত সর্বদা স্থির থাকিবে, অর্থাৎ নিস্পন্দ বিন্দু (N) হইবে। মূল তরঙ্গের তরঙ্গশীর্ষ এবং তরঙ্গপাদ তারের দুই দৃঢ়প্রান্তে পৌঁছিলে উহারা ঐ দুই প্রান্ত হইতে যথাক্রমে তরঙ্গপাদ ও তরঙ্গশীর্ষরূপে প্রতিফলিত হইয়া ফিরিয়া আসিবে। এই কারণেই তারের দুই বদ্ধ প্রান্তে সর্বদা নিস্পন্দ বিন্দু হইবে [2.12নং চিত্রগুলি দেখ]। তারের মধ্যবর্তী স্থানে কতকগুলি সুস্পন্দ এবং নিস্পন্দ হইবে তাহা তারের কম্পনের রীতির উপর নির্ভর করে।

(2) **তারের কম্পনের বিভিন্ন রীতি এবং উহাদের কম্পাঙ্ক** :—কোন তারে তির্যক স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করিলে উহার দুইটি নিকটতম নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে তারের যে অংশ থাকে তাহাকে একটি লুপ (loop) বলে, যাহার দৈর্ঘ্য তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (λ) অর্ধেক। মনে কর l দৈর্ঘ্যের কোন টান করা তারে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করিতে হইবে যাহাতে s সংখ্যক লুপ থাকিবে। এজন্য তারের একটি স্থির

প্রান্ত হইতে (মনে কর P প্রান্ত হইতে) l/s দূরে তারকে একটি হাল্কা পালক দ্বারা আস্তে চাপিয়া ধরিয়া তারের ঐ একই প্রান্ত হইতে $(l/2s)$ দূরে তারকে তাহার অভিলম্বের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে প্রার্থিত স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে এবং ইহাতে s সংখ্যক লুপ থাকিবে। তারের P প্রান্ত হইতে l/s দূরের তারের বিন্দুকে চাপিয়া ধরায় ঐ বিন্দু কম্পনের সুযোগ পাইবে না, অর্থাৎ ঐ বিন্দু একটি নিস্পন্দ বিন্দু হইবে। ঐ P প্রান্ত হইতে $l/2s$ দূরের তারকে টানিয়া ছাড়িয়া দেওয়ার ফলে ওখানে একটি সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হইবে। কাজেই তারের P প্রান্ত হইতে প্রথম নিস্পন্দ বিন্দুর দূরত্ব $=\lambda/2 = l/s$; অথবা, $\lambda = 2l/s$।



চিত্র 2.12 : তারে তির্যক কম্পন এবং স্থাণু-তরঙ্গ গঠন

কিন্তু দেখান যায় যে T বল দ্বারা টানিয়া রাখা কোন তারে (যাহার একক দৈর্ঘ্যের ভর m) তির্যক তরঙ্গ-সৃষ্টি করিলে ঐ তরঙ্গের বেগ হইবে $v = \sqrt{T/m}$। তারের কম্পাঙ্ক যদি n হয় তাহা হইলে $v = n\lambda = \sqrt{T/m}$; অথবা $n = \frac{1}{\lambda}\sqrt{T/m}$। তারের কম্পনের সময় যদি উহাতে s সংখ্যক লুপের সৃষ্টি হয় তাহা হইলে $\lambda = 2l/s$।

অতএব, $n_s = \frac{s}{2l}\sqrt{T/m}$ ... ...(2-14a)

সুতরাং s লুপে কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্ক (n_s), (2-14a) সমীকরণ দ্বারা নির্ণীত হয়।

অনুসিদ্ধান্ত : (i) তারের মধ্য-বিন্দুকে লম্বের দিকে (তারের লম্বের দিকে) টানিয়া ছাড়িয়া দিলে ঐ বিন্দুতে একটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) গঠিত হইবে [তারের দুই স্থির প্রান্তে (P ও Q) স্থায়ীভাবে যে দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু (N) ছিল তাহারা সেই স্থানেই থাকিয়া যাইবে] [3-12(a)নং চিত্র]। তারের এইরূপ কম্পনে যে স্বর উৎপন্ন হয় তাহাকে **মূলস্বর** (Fundamental tone) বলে যাহার কম্পাঙ্ক (2-14a) সমীকরণে s-এর স্থানে 1 বসাইলেই পাওয়া যাইবে। অতএব, $n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ...(2-14b)

(ii) তারের মধ্য বিন্দুকে পালক দ্বারা হাল্কাভাবে স্পর্শ করাইয়া তারের এক প্রান্ত হইতে (ধরা যাক্ P-প্রান্ত হইতে) $l/4$ দূরের তারকে উহার লম্বের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তারের কম্পন দুই লুপে হইবে। এইরূপ কম্পনে, তারের

মধ্য বিন্দুতে একটি নিস্পন্দ বিন্দু (N) হইবে এবং উহার P প্রান্ত হইতে $l/4$ ও $3l/4$ দূরে দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) হইবে [2.12(b) নং চিত্র]। তারের এইরূপ কম্পনে যে স্বর উৎপন্ন হইবে তাহাকে **প্রথম উপস্বর** (First overtone) বলে, যাহার কম্পাঙ্ক, (2-14a) সমীকরণে s-এর স্থানে 2 বসাইলেই পাওয়া যাইবে। অতএব,

$$n_2 = \frac{2}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = 2n_1 = \text{মূলস্বরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ} \quad \cdots \quad \cdots(2\text{-}14c)$$

[অর্থাৎ প্রথম উপস্বরের কম্পাঙ্ক, মূল স্বরের কম্পাঙ্কের এক **অষ্টক** (Octave) উপরে]।

(iii) তারের একপ্রান্ত হইতে (ধরা যাক্ P প্রান্ত হইতে) $l/3$ দূরে, তারকে হাল্‌কা পালক দ্বারা স্পর্শ করাইয়া, তারের ঐ প্রান্ত হইতে $l/6$ দূরে তারের বিন্দুকে উহার লম্বের দিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে তারটির কম্পন তিনটি লুপে হইবে। এইরূপ কম্পনে তারের নির্দিষ্ট প্রান্ত হইতে (P-প্রান্ত হইতে) $l/3$ ও $2l/3$ দূরে দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু (N) গঠিত হইবে এবং ঐ একই প্রান্ত হইতে $l/6$, $3l/6$ এবং $5l/6$ দূরে তিনটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) গঠিত হইবে [2.12(c) নং চিত্র]। তারের এই প্রকার কম্পনে যে স্বর উৎপন্ন হইবে তাহাকে **দ্বিতীয় উপস্বর** (Second overtone) বলে, যাহার কম্পাঙ্ক, (2-14a) সমীকরণে s-এর স্থানে 3 বসাইলেই পাওয়া যাইবে। অতএব,

$$n_3 = \frac{3}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} = 3n_1 = \text{মূল স্বরের তিনগুণ} \quad \cdots \quad \cdots(2\text{-}14d)$$

(iv) অনুরূপভাবে, তারের কম্পন যখন s লুপে হয় তখন ($s-1$)-তম উপস্বর উৎপন্ন হয় যাহার কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের s গুণ। সুতরাং নমনীয় তারের তির্যক কম্পনে যে উপস্বরগুলি উৎপন্ন হয় তাহাদের কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের যুগ্ম এবং অযুগ্ম গুণিতক, অর্থাৎ এই উপস্বরগুলি **সমমেল**।

2-15. তারের তির্যক কম্পনের সূত্রাবলী (Laws of transverse vibration of a string) ঃ তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলি (2-14a) সমীকরণে সন্নিবিষ্ট করা আছে যাহাদের পৃথক বিবরণ নিম্নে দেওয়া হইল।

(1) **দৈর্ঘ্যের সূত্র** (Law of length) ঃ—কোন কম্পনশীল তারের টান (T) এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) স্থির থাকিলে, ঐ তারের কম্পাঙ্ক (n) উহার দৈর্ঘ্যের (l) সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ,

$n \propto 1/l$, যখন T ও m স্থির থাকে ; অথবা, nl = ধ্রুবক, যখন T ও m স্থির থাকে।

(2) **টানের সূত্র** (Law of tension) ঃ—কোন কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং একক দৈর্ঘ্যের ভর (m) স্থির থাকিলে, উহার কম্পাঙ্ক (n) তারের টানের (T) বর্গমূলের সহিত সমানুপাতে পরিবর্তিত হইবে। অর্থাৎ,

$n \propto \sqrt{T}$, যখন l ও m স্থির থাকে ; n^2/T=ধ্রুবক, যখন l ও m স্থির থাকে।

(3) **ভরের সূত্র** (Law of mass) ঃ—কোন কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য (l) এবং টান (T) স্থির থাকিলে, উহার কম্পাঙ্ক (n) তারের প্রতি একক দৈর্ঘ্যের ভরের (m) বর্গমূলের সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ,

$n \propto 1/\sqrt{m}$, যখন l ও T স্থির থাকে ; অথবা, $n^2 \times m$ = ধ্রুবক, যখন l ও T স্থির থাকে।

ভরের বিকল্প সূত্র ঃ—তারের ব্যাস যদি d হয় এবং উহার পদার্থের ঘনত্ব যদি ρ হয় তাহা হইলে তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর হইবে,

$m = \frac{\pi d^2}{4} \times \rho$। কাজেই m-এর এই মান $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ সমীকরণে বসাইলে

পাওয়া যায় যে, $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{(\pi d^2/4)\rho}} = \frac{1}{ld}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$ ... ... (2-15a)

(3a) **ব্যাসের সূত্র** ঃ—কোন কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য (l), টান (T) এবং উহার পদার্থের ঘনত্ব (ρ) স্থির থাকিলে, উহার কম্পাঙ্ক (n) তারের ব্যাসের (d) সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হইবে। অর্থাৎ,

$n \propto 1/d$, যখন l, T ও ρ স্থির থাকে , অথবা, nd=ধ্রুবক, যখন l, T ও ρ স্থির থাকে।

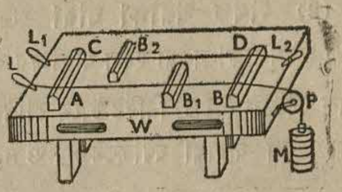
(3b) **ঘনত্বের সূত্র** ঃ—কোন কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য (l), ব্যাস (d) এবং টান (T) স্থির থাকিলে, উহার কম্পাঙ্ক (n) তারের পদার্থের ঘনত্বের (ρ) বর্গমূলের সহিত ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হইবে। অর্থাৎ,

$n \propto 1/\sqrt{\rho}$, যখন l, d ও T স্থির থাকে ; অথবা, $n^2 \times \rho$ = ধ্রুবক, যখন l, d, ও T স্থির থাকে।

2-16. সনোমিটার এবং তাহার সাহায্যে (*a*) টান তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির প্রমাণ এবং (*b*) সুরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় (Sonometer and its use (*a*) to verify the laws of transverse vibration of a stretched string and (*b*) to find the frequency of a tuning fork) ঃ

সনোমিটার ঃ ইহা একটি আয়তাকার, প্রায় এক মিটার লম্বা ফাঁপা কাঠের বাক্স (W) যাহার উপরতলের দুইপ্রান্তে দৃঢ়ভাবে আটকানো দুইটি সেতুর (AC ও

BD) উপর দুইটি সরু তার (AB ও CD) স্থাপন করা আছে [2.13 নং চিত্র]। AB তারের এক প্রান্ত একটি পিনের (L) সহিত আটকাইয়া উহার অপর প্রান্ত একটি পুলির (P) খাঁজের মধ্য দিয়া লইয়া গিয়া একটি ভারবাহী আংটার (যাহার উপর ভার M আছে) সহিত বাঁধিয়া রাখা হয়। এই আংটার উপর বিভিন্ন ভার চাপাইয়া AB তারে বিভিন্ন টান প্রয়োগ করা হয়। CD তারের



চিত্র 2.13 ঃ সনোমিটার

(যাহাকে তুলনামূলক তার বলে) দুই প্রান্ত দুইটি পিনের (L_1 ও L_2) সঙ্গে বাঁধা থাকে এবং এই পিন দুইটিকে ঘুরাইয়া CD তারকে টান রাখা হয়। তারের কম্পমান দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের জন্য প্রত্যেক তারের নীচে একটি করিয়া সঞ্চরণশীল সেতু (যথা B_1 ও B_2) থাকে।

(a) তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির প্রমাণ ঃ

(1) একটি পরীক্ষা দ্বারা সূত্রগুলির প্রমাণ ঃ—মূলস্বর উৎপন্নকারী তারের তির্যক কম্পনের তিনটি সূত্র যে সমীকরণে সন্নিবিষ্ট আছে তাহা হইল,

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \quad \cdots \quad \cdots \quad (2\text{-}16a)$$

পরীক্ষা দ্বারা উল্লিখিত সমীকরণ প্রমাণিত হইলেই সূত্র তিনটির সত্যতাও প্রমাণিত হইবে। এই পরীক্ষা নিম্নলিখিতভাবে সম্পন্ন করা হয়।

একটি স্বরশলাকা লওয়া হইল যাহার কম্পাঙ্ক (n) জানা আছে। এই স্বরশলাকার সহিত, টান করিয়া বাঁধা AB তারের একটি **ন্যূনতম দৈর্ঘ্য** AB_1-কে সমস্বরে আনা হইল। [কম্পমান স্বরশালাকার ডাঁটি সনোমিটারের বাক্সের উপরে রাখিলে, যদি AB_1 তারের উপর স্থাপিত একটি হাল্‌কা কাগজের টুকরা খুব জোরে নীচে পড়িয়া যায় এবং শলাকা ও AB_1 তারের শব্দের মধ্যে কোন স্বরকম্প না থাকে তাহা হইলে তারটি স্বরশলাকার সমস্বরে আসিবে]। এক্ষণে তারের কম্পাঙ্ক, স্বরশলাকার কম্পাঙ্কের (n) সহিত সমান হইল। তারের প্রান্তে যে M গ্রাম ভার ছিল তাহার জন্য তারের টান হইবে $=T=Mg$ ডাইন। AB_1 তারের অনুরূপ একটি নমুনা তার লইয়া তাহার দৈর্ঘ্য (x সে. মি.) একটি স্কেল দ্বারা এবং ভর (y গ্রাম) একটি সুবেদী তুলা দ্বারা নির্ণয় করিয়া AB_1 তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর $m=(y/x)$ গ্রাম প্রতি সে. মি.-এ নির্ণয় করা হইল। AB_1 তারের দৈর্ঘ্য ($=l$) একটি স্কেল দ্বারা মাপিয়া লইয়া l, T ও m-এর মান (2-16a) সমীকরণে বসাইয়া তারের কম্পাঙ্কের মান নির্ণয় করিলে দেখা যাইবে যে ঐ মান শলাকার কম্পাঙ্কের ($=n$) সহিত সমান

হইতেছে। কাজেই (2-16a) সমীকরণে সন্নিবিষ্ট তারের তির্যক কম্পনের তিনটি সূত্র একসঙ্গে প্রমাণিত হইল।

(2) **পৃথক পরীক্ষা দ্বারা সূত্রগুলির প্রমাণ**:—(*i*) **দৈর্ঘ্যের সূত্র**—দুইটি স্বরশলাকা লওয়া হইল যাহাদের কম্পাঙ্ক (n_1 ও n_2) জানা আছে। পরীক্ষামূলক তারকে (AB) নির্দিষ্ট টানে রাখিয়া উহার দুইটি ন্যূনতম দৈর্ঘ্য, l_1 ও l_2 নির্ণয় করা হইল যাহারা যথাক্রমে n_1 ও n_2 কম্পাঙ্কের শলাকার সহিত সমস্বরে আসিতে পারে। দেখা যাইবে যে, $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}$। ইহা দ্বারা দৈর্ঘ্যের সূত্র প্রমাণিত হইবে।

(*ii*) **টানের সূত্র**.—পরীক্ষামূলক তারের (AB) প্রান্তে পরপর দুইটি বিভিন্ন ভার M_1 ও M_2 ঝুলাইয়া দিলে তারের টান যথাক্রমে $T_1=M_1g$ এবং $T_2=M_2g$ হইবে। এক্ষণে তুলনামূলক তারকে (CD-কে) নির্দিষ্ট টানে রাখিয়া উহার দুইটি **ন্যূনতম** দৈর্ঘ্য l_1 ও l_2 স্থির করা হইল যাহারা AB তারের AB_1 দৈর্ঘ্যের সহিত সমস্বরে আসিতে পারে, যখন AB_1-এর টান যথাক্রমে T_1 ও T_2। দেখা যাইবে যে $\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}=\frac{l_2}{l_1}$। কিন্তু দৈর্ঘ্যের সূত্রের সত্যতা ধরিয়া লইলে (যাহা পূর্বেই প্রমাণিত হইয়াছে), তুলনামূলক তারের ক্ষেত্রে $\frac{l_2}{l_1}=\frac{n_1}{n_2}$, সুতরাং $\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$।

ইহা দ্বারা টানের সূত্র প্রমাণিত হইবে।

(*iii*) **ভরের সূত্র**.—AB তারের দৈর্ঘ্যের সমান দুইটি পরীক্ষণীয় তার লওয়া হইল যাহাদের প্রথম ও দ্বিতীয় তারের রৈখিক ঘনত্ব যথাক্রমে m_1 ও m_2 (তারের একক দৈর্ঘ্যের ভরকে উহার রৈখিক ঘনত্ব বলে)। প্রথম ও দ্বিতীয় তারের নমুনা তার লইয়া তাহাদের ভর ও দৈর্ঘ্য মাপিয়া উহাদের অনুপাত (=ভর/দৈর্ঘ্য) নির্ণয় করিলে m_1 ও m_2 পাওয়া যাইবে।

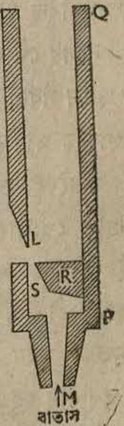
এক্ষণে প্রথম ও দ্বিতীয় তারকে পর পর AB-এর স্থানে স্থাপন করিয়া এবং তাহাদের প্রান্তে একই ভার ঝুলাইয়া দিয়া, উহাদের একটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্য AB_1-এর সহিত, নির্দিষ্ট টানে রক্ষিত তুলনামূলক তারের (CD-এর) দুইটি **ন্যূনতম** দৈর্ঘ্য l_1 ও l_2-কে পর পর সমস্বরে আনা হইল। দেখা গেল যে, $\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}=\frac{l_2}{l_1}$। কিন্তু দৈর্ঘ্যের সূত্রের সত্যতা ধরিয়া লইলে, তুলনামূলক তারের ক্ষেত্রে $\frac{l_2}{l_1}=\frac{n_1}{n_2}$ হইবে। কাজেই $\frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$। ইহা দ্বারা ভরের সূত্র প্রমাণিত হইবে।

(*b*) **স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় :**—প্রদত্ত স্বরশলাকার সহিত টান করিয়া বাঁধা AB তারের একটি **ন্যূনতম** দৈর্ঘ্য AB_1-কে $(=l)$ সমস্বরে আনা হইল। কাজেই শলাকার কম্পাঙ্ক, AB_1 তারের কম্পাঙ্কের $(=n)$ সহিত সমান হইবে। AB_1-এর দৈর্ঘ্য (l) একটি স্কেল দ্বারা মাপিয়া লওয়া হইল। AB তারের প্রান্তে M গ্রাম তার ঝুলানো থাকিলে তারের টান হইবে $T=Mg$ ডাইন। AB তারের নমুনা তারের ভর ও দৈর্ঘ্য মাপিয়া উহাদের অনুপাত (ভর/দৈর্ঘ্য) লইলে AB_1 তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর m পাওয়া যাইবে। তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির সত্যতা ধরিয়া লইলে, তারের মূলস্বরের কম্পাঙ্ক $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ সমীকরণ হইতে পাওয়া যাইবে এবং এই সমীকরণ হইতে তারের নির্ণীত কম্পাঙ্কই স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক হইবে।

2.17. অর্গ্যান নলের বায়ুস্তম্ভের অনুদৈর্ঘ্য কম্পন

(Longitudinal vibrations of air column in an organ pipe) :

(*a*) **অর্গ্যান নলের বিবরণ :**—ইহা একটি কাঠ বা ধাতু নির্মিত লম্বা নল (PQ) যাহার প্রস্থচ্ছেদ গোল বা আয়তাকার হইতে পারে [2.14নং চিত্র]। এই নলের নিম্নপ্রান্ত (M) খুব সরু যাহার মধ্য দিয়া বায়ু চালনা করা হয়। একটি ফলকের (R) দ্বারা বায়ুপ্রবাহের পথ খুব সরু করিয়া একটি স্লিটের [Slit] (S) আকার দেওয়া হয়। বাতাস এই সরু স্লিট দিয়া বেগে নির্গত হইয়া একটি ধারালো পাতকে (L) [ইহাকে lip বলে] আঘাত করিতে পারে। এই নলরে উপরের মুখ বন্ধ কিংবা খোলা থাকিলে তাহাকে যথাক্রমে বন্ধ নল কিংবা খোলা নল বলিয়া অভিহিত করা হয়।



চিত্র 2.14 : অর্গ্যান নল

(*b*) **বায়ুস্তম্ভের কম্পন-সৃষ্টির তত্ত্ব :**—যখন সরু নলের (M) মধ্য দিয়া বায়ু-প্রবাহ চালনা করা হয় তখন ঐ বাতাস লম্বা সরু ছিদ্রের (S) মধ্য দিয়া বাহির হইয়া একটি ধারালো পাতের (L) গায়ে আঘাত করে। ইহার ফলে ঐ পাতের দুই পাশে আবর্তের (vortices) সৃষ্টি হয়, যাহারা ধারালো পাতের (L) এক পাশে বামাবর্তী হইয়া এবং অপর পাশে দক্ষিণাবর্তী হইয়া ঘুরিতে থাকে। এই বিপরীত দিকে ঘূর্ণায়মান আবর্তগুলি নলের মধ্যস্থ বাতাসে পর্যায়ক্রমে ঘনীভবন ও তনুভবনের সৃষ্টি করে যাহার ফলে একটি স্বর উৎপন্ন হয় যাহাকে **এজ্-টোন** (Edge tone) বলে।

এই ধারালো পাতটি (L) যখন ছিদ্র (S) হইতে একটি ন্যূনতম দূরে থাকে তখন ছিদ্র হইতে নির্গত বাতাসের বেগ ক্রমশঃ বৃদ্ধি করিয়া একটি ন্যূনতম মানে আনিলে

যে এজ্-টোন উৎপন্ন হয় তাহার কম্পাঙ্ক এবং নলের বায়ুস্তম্ভের মূলস্বরের কম্পাঙ্ক সমান হয়। এই অবস্থায় বায়ুস্তম্ভে অনুনাদ সৃষ্টি হয় এবং উহা তখন তাহার মূলস্বর (Fundamental tone) উৎপন্ন করে। ছিদ্রের (S) মধ্য দিয়া নির্গত বায়ুর বেগ ক্রমশঃ বাড়াইতে থাকিলে এজ্-টোনের কম্পাঙ্কও বাড়িতে থাকিবে। যখন এজ্-টোনের কম্পাঙ্ক, নলের বায়ুস্তম্ভের প্রথম উপস্বরের কম্পাঙ্কের সমান হইবে তখন উহাদের মধ্যে অনুনাদের সৃষ্টি হইবে এবং বায়ুস্তম্ভ তখন প্রথম উপস্বর উৎপন্ন করিবে। এইভাবে ছিদ্র (S) হইতে নির্গত বায়ু-প্রবাহের বেগ বাড়াইয়া নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পন এমন করা যায় যাহা দ্বারা উহা আরও উচ্চ উপস্বর উৎপন্ন করিতে পারে।

(c) **অর্গ্যান নলে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি:**—যখন নলের বায়ুস্তম্ভ এবং এজ্-টোনের মধ্যে অনুনাদ সৃষ্টি হয় তখন নলের একপ্রান্তে পর্যায়ক্রমে ঘনীভবন এবং তনূভবনের সৃষ্টি হয়। এই ঘনীভবন এবং তনূভবন নলের অপর প্রান্তের দিকে অগ্রসর হইবে এবং ঐ প্রান্ত হইতে প্রতিফলিত হইয়া মূল তরঙ্গের উপর আপতিত হইবে। এই প্রতিফলিত তরঙ্গ, মূল তরঙ্গের সর্বসম এবং একই সরলরেখায় বিপরীতগামী হওয়ায় উহাদের উপরিপাতনে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে যাহাতে পর্যায়ক্রমে নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু থাকিবে।

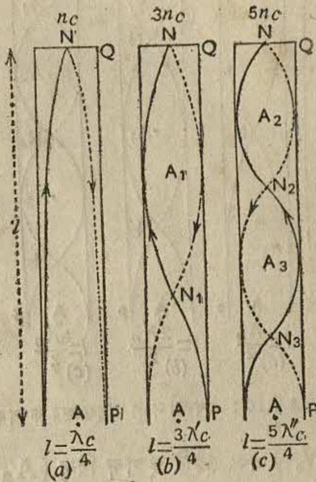
নলের খোলা মুখের বায়ু কণাগুলির অনুদৈর্ঘ্য কম্পনে কোন বাধা না থাকায় ঐ স্থানে সর্বদা সুস্পন্দ বিন্দু হইবে কিন্তু নলের বন্ধ মুখের বায়ুকণাগুলির অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের স্বাধীনতা না থাকায় ঐ স্থানে সর্বদা নিস্পন্দ বিন্দু হইবে।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ঘনীভবন এবং তনূভবন যখন নলের খোলামুখে যায় তখন ঐগুলি খোলামুখ হইতে প্রতিফলিত হইবার পর যথাক্রমে তনূভবন ও ঘনীভবন হইয়া ফিরিয়া আসে (অর্থাৎ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের প্রতিফলন, নলের খোলামুখে হইলে উহার ঘনীভবন এবং তনূভবন বিপরীত দশা প্রাপ্ত হয়)। কিন্তু ঐ ঘনীভবন এবং তনূভবন যখন নলের বন্ধ মুখ হইতে প্রতিফলিত হয় তখন উহারা যথাক্রমে ঘনীভবন ও তনূভবন হইয়া ফিরিয়া আসে [অর্থাৎ এই প্রতিফলনে ঘনীভবনের এবং তনূভবনের দশার পরিবর্তন হয় না]।

2-18. অর্গ্যান নলের বায়ুস্তম্ভের বিভিন্ন ধরনের কম্পন এবং তাহাদের কম্পাঙ্ক (Different modes of vibration of air column in organ pipes and their frequencies) ঃ পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, অর্গ্যান নলের লম্বা স্লিটের (S) [2.14 নং চিত্র] মধ্য দিয়া যে বায়ুপ্রবাহ চালনা করা হয় তাহার বিভিন্ন বেগের জন্য, বিভিন্ন কম্পাঙ্কের এজ্-টোন উৎপন্ন হয়। যখন এজ্-টোনের কম্পাঙ্ক, বায়ুস্তম্ভের মূলস্বর কিংবা উপস্বরের কম্পাঙ্কের সহিত সমান হয় তখন উহাদের মধ্যে অনুনাদ সৃষ্টি হয়। এক্ষণে মূল তরঙ্গ ও প্রতি-

ফলিত তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে যে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহাতে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু গঠিত হয় যাহাদের সংখ্যা বায়ুস্তম্ভের কম্পনের ধরনের উপর নির্ভর করিবে। নিম্নে বন্ধ ও খোলা নলের বায়ুস্তম্ভের বিভিন্ন ধরনের কম্পন সম্বন্ধে আলোচনা করা হইয়াছে এবং তাহাদের কম্পাঙ্কও নির্ণয় করা হইয়াছে।

(*a*) **বন্ধ নল** (Closed pipe) :—(*i*) যখন বায়ুস্তম্ভের কম্পনে **মূলস্বর** উৎপন্ন হয় তখন নলের বন্ধ প্রান্তে (Q) নিস্পন্দ বিন্দু (N) এবং খোলা মুখে (P) সুস্পন্দ বিন্দু (A) গঠিত হয় [2·15(a) নং চিত্র]। এখন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_c হইলে, নলের দৈর্ঘ্য হইবে $l=\lambda_c/4$; অথবা, $\lambda_c=4l$। কিন্তু $v=n_c\lambda_c$; অথবা $n_c=v/\lambda_c$; অথবা, $n_c=v/4l$ = মূলস্বরের কম্পাঙ্ক ... ... (2-18a)



চিত্র 2.15 : বন্ধনলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন

(*ii*) যখন বায়ুস্তম্ভ **প্রথম উপস্বর** উৎপন্ন করে, তখন খোলামুখে (P) সুস্পন্দবিন্দু (A) এবং বন্ধ মুখে (Q) নিস্পন্দ বিন্দু (N) উৎপন্ন হওয়া ছাড়াও নলের ভিতরে আরও একটি নিস্পন্দ বিন্দু (N_1) এবং সুস্পন্দ বিন্দু (A_1) গঠিত হয় [2.15 (b) নং চিত্র]। এখন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ'_c হইলে, $l=3\lambda'_c/4$; অথবা $\lambda'_c=4l/3$। কাজেই $n'_c=v/\lambda'_c$ $=3v/4l=3n_c$ = মূলস্বরের তিনগুণ ... ... (2-18b)

(*iii*) যখন বায়ুস্তম্ভ **দ্বিতীয় উপস্বর** উৎপন্ন করে তখন বায়ুস্তম্ভের কম্পনের প্রকৃতি 2·15 (c) নং চিত্রে দেখান হইয়াছে। এখানে বন্ধ প্রান্তে (Q) নিস্পন্দ বিন্দু (N) এবং খোলাপ্রান্তে (P) সুস্পন্দ বিন্দু (A) যেমন ছিল সেইরূপই থাকিবে উপরন্তু নলের মধ্যে আরও দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু (A_2 ও A_3) এবং দুইটি নিস্পন্দ বিন্দু (N_2 ও N_3) গঠিত হইবে। এক্ষেত্রে $l=5\lambda''_c/4$; অথবা, $\lambda''_c=4l/5$। কাজেই

$$n''_c=\frac{v}{\lambda''_c}=\frac{5v}{4l}=5n_c = \text{মূলস্বরের 5 গুণ} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2\text{-}18c)$$

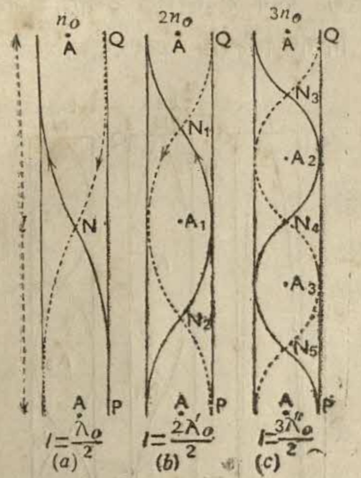
অতএব বন্ধ নলের উপস্বরগুলির কম্পাঙ্ক, উহার মূলস্বরের কম্পাঙ্কের **অযুগ্ম গুণিতক** কাজেই উহাদিগকে **সমমেল** বলা হয়।

(*b*) **খোলা নল** (Open pipe) :—(*i*) খোলা নলে যখন **মূলস্বর** উৎপন্ন হয় তখন নলের দুই প্রান্তে (P ও Q) সুস্পন্দ বিন্দু (A) উৎপন্ন হয় এবং মধ্যস্থানে

একটি নিষ্পন্দ বিন্দু (N) গঠিত হয় [2. 16 (a) নং চিত্র]। এখন তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ_o হইলে, $l=\lambda_o/2$; অথবা, $\lambda_o=2l$। কিন্তু $n_o=v/\lambda_o=v/2l$ ··· (2-18d)

(ii) খোলা নলে **প্রথম উপস্থর** উৎপন্ন হইলে, নলের দুই প্রান্তে (P ও Q) সুস্পন্দ বিন্দু (A) ছাড়াও, নলের মধ্যে আরও দুইটি নিষ্পন্দ বিন্দু (N_1 ও N_2) এবং একটি সুস্পন্দ বিন্দু (A_1) উৎপন্ন হইবে [2·16(b) নং চিত্র]। এক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ'_0 হইলে, $l=\frac{2\lambda'_0}{2}$; অথবা, $\lambda'_0=\frac{2l}{2}$। কাজেই $n'_0=\frac{v}{\lambda'_0}=\frac{2v}{2l}=2n_0$··· ··· ···(2-18$e$)

[মূলস্বরের কম্পাঙ্কের দ্বিগুণ।]



চিত্র 2.16 : খোলা নলে বায়ুস্তম্ভের কম্পন

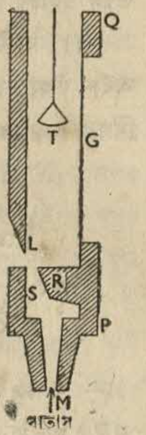
(iii) খোলা নলে **দ্বিতীয় উপস্থর** উৎপন্ন হইলে, নলের দুই খোলা প্রান্তে যে দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু (A) ছিল তাহারা সেইরূপই থাকিবে, উপরন্তু নলের মধ্যে আরও তিনটি নিষ্পন্দ বিন্দু (N_3, N_4 ও N_5) এবং দুইটি সুস্পন্দ বিন্দু (A_2 ও A_3) উৎপন্ন হইবে [2·16(c) নং চিত্র]। এক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য λ''_0 হইলে, $l=\frac{3\lambda''_0}{2}$; অথবা, $\lambda''_0=\frac{2l}{3}$। কাজেই $n''_0=\frac{v}{\lambda''_0}=\frac{3v}{2l}=3n_0$··· ···(2-18$f$) [এখানে দ্বিতীয় উপস্থরের কম্পাঙ্ক, মূলস্বরের কম্পাঙ্কের তিনগুণ]। কাজেই খোলা নলের উপস্থরগুলির কম্পাঙ্ক মূলস্বরের কম্পাঙ্কের **যুগ্ম এবং অযুগ্ম গুণিতক**, এজন্য এই উপস্থরগুলিও **সমমেল** হইবে।

2-19. খোলা নলের কম্পনশীল বায়ুস্তম্ভের মধ্যে নিষ্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান দেখাইবার পরীক্ষা (Demonstration of nodes and antinodes in vibrating column of air in an open organ pipe) ঃ এখানে যে আয়তক্ষেত্রিক প্রস্থচ্ছেদযুক্ত লম্বা খোলা নল লইয়া পরীক্ষা করা হইবে, তাহার একটি ধার কাঁচের (G) তৈরী, যাহার মধ্য দিয়া নলের অভ্যন্তরীণ অবস্থা দেখা যায়। একটি পাতলা কাগজের পাতে (T) কিছু শুষ্ক বালি লইয়া একগাছি সূতার সাহায্যে ঐ পাতকে নলের মধ্যে আস্তে আস্তে নামাইয়া দিলে, বালুকণাগুলির স্পন্দন (নলের দৈর্ঘ্য বরাবর) তখনই দেখা যাইবে যখন ঐ পাত কোন সুস্পন্দ বিন্দুতে আসিবে।

কিন্তু বালিসমেত পাতটি (T) যখন নিস্পন্দ বিন্দুতে আসিবে তখন বালুকণাগুলির কোনরূপ স্পন্দন দেখা যাইবে না [2.17 নং চিত্র]।

(i) বায়ুস্তম্ভের কম্পনে যখন মূলস্বর উৎপন্ন হয় তখন নলের মুখে বালুকণাগুলির স্পন্দন দেখা যায় কিন্তু ঠিক মধ্যস্থানে উহারা নিশ্চল হইয়া যায়। সুতরাং মূলস্বর উৎপন্নকারী বায়ুস্তম্ভের মধ্যস্থানে নিস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হয় [2.16(a) নং চিত্র দেখ]।

(ii) বায়ুস্তম্ভের কম্পনে যখন প্রথম উপস্বর উৎপন্ন হয়, তখন বালিসমেত পাতটি নলের মধ্যস্থানে আসিলে বালুকণাগুলির স্পন্দন দেখা যায় কিন্তু মধ্যস্থানের কিছু উপরে কিংবা কিছু নীচে উহাদের কোন স্পন্দন থাকে না। ইহা দ্বারা বোঝা যায় যে প্রথম উপস্বর উৎপন্নকারী বায়ুস্তম্ভের মাঝখানে সুস্পন্দ বিন্দু (A_1) এবং উহার উপরে এবং নীচে নিস্পন্দ বিন্দু (যথাক্রমে N_1 ও N_2) গঠিত হয় [2·16(b) নং চিত্র দেখ]। এইভাবে, নলের বায়ুস্তম্ভে বিভিন্ন উপস্বর উৎপন্ন হইলে নলের মধ্যে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান স্থির করা যায়।



চিত্র 2·17 : খোলা নলে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান

2-20. তরঙ্গের ব্যতিচার (Interference of waves) :

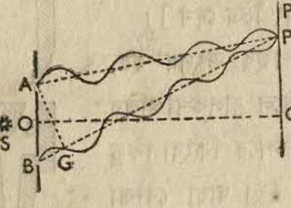
(a) **ব্যতিচার** :—যখন দুইটি সমকম্পাঙ্কের এবং প্রায় সমবিস্তারের তরঙ্গের দশার মধ্যে একটি **স্থায়ী-সম্বন্ধ** থাকে, তখন ঐ দুই তরঙ্গ (i) একই দিকে কিংবা (ii) বিপরীত দিকে অগ্রসর হইয়া একটি কণার উপর আপতিত হইলে ঐ কণার কম্পন-বিস্তার সর্বোচ্চ কিংবা সর্বনিম্ন হইবে যদি তরঙ্গ দুইটি যথাক্রমে সমদশায় কিংবা বিপরীত দশায় ঐ কণার উপর মিলিত হয়। এই ঘটনাকে **তরঙ্গের ব্যতিচার** বলে।

তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রে, তরঙ্গ দুইটি সমদশায় মিলিত হইবে, যখন উহাদের তরঙ্গ-শীর্ষ (কিংবা তরঙ্গপাদ) একই সময়ে একই কণার উপর আপতিত হয় কিন্তু ঐ তরঙ্গ দুইটি বিপরীত দশায় মিলিত হইবে যখন একটির তরঙ্গশীর্ষ (কিংবা তরঙ্গপাদ) অপরটির তরঙ্গপাদের (কিংবা তরঙ্গশীর্ষের) সহিত একই সময়ে একই কণার উপর মিলিত হয়।

অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে, তরঙ্গ দুইটি সমদশায় মিলিত হইবে যখন উহাদের ঘনীভবন (কিংবা তনূভবন) একই সময়ে একই স্থানে আপতিত হয় কিন্তু ঐ তরঙ্গ দুইটি বিপরীত দশায় মিলিত হইবে যখন একটির ঘনীভবন (কিংবা তনূভবন) অপরটির তনূভবনের (কিংবা ঘনীভবনের) সহিত একই সময়ে একই স্থানে মিলিত হয়।

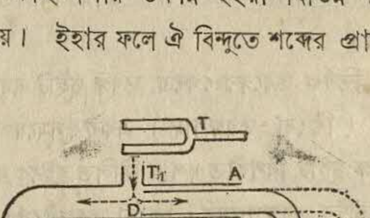
(*b*) **স্থায়ী ব্যতিচার হওয়ার শর্ত** :—ব্যতিচার স্থায়ীভাবে পাইতে হইলে তরঙ্গ দুইটির নিম্নলিখিত শর্তগুলি পূরণ করার প্রয়োজন।

(*i*) ব্যতিচারী তরঙ্গ দুইটির দশার মধ্যে একটি **স্থায়ী সম্বন্ধ** থাকার দরকার। অর্থাৎ উহাদের উৎপত্তিস্থলে (A ও B), উহারা সর্বসময়ের জন্য হয় সমদশায় কিংবা বিপরীত দশায় থাকিবে। ইহা সম্ভব হয়, যদি তরঙ্গ দুইটিকে একটি মাত্র উৎস (S) হইতে উৎপন্ন করা হয় (2.18 নং চিত্র)। (*ii*) দুইটি তরঙ্গের কম্পাঙ্ক সমান হইবে এবং উহাদের কম্পন-বিস্তারও প্রায় সমান হইবে। (*iii*) তরঙ্গ দুইটি, একই দিকে সমগতিতে বিভিন্ন রাস্তায় (AP ও BP) যাইয়া একটি কণার (P) উপর আপতিত হইলে যেমন ব্যতিচারের সৃষ্টি হয়, সেইরূপ উহারা একই সরলরেখার বিপরীত দিক হইতে আসিয়া একটি কণার উপর আপতিত হইলেও ব্যতিচারের সৃষ্টি হইবে। শেষোক্ত ব্যতিচারের ফলে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। (*iv*) যখন সর্বসময়ে, সমদশায় থাকা দুইটি তরঙ্গ, একই দিকে বিভিন্ন রাস্তায় যাইয়া একটি কণার উপর আপতিত হয় তখন কণার বিস্তার উচ্চতম কিংবা নিম্নতম হইতে পারে যদি তরঙ্গ দুইটির উৎস হইতে কণার দূরত্বের পার্থক্য (BG) যথাক্রমে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের ($\lambda/2$) যুগ্ম কিংবা অযুগ্ম গুণিতক হয়। [2.18নং চিত্র]।



চিত্র 2.18 : তরঙ্গের ব্যতিচার

(*c*) **ব্যতিচার দেখাইবার পরীক্ষা : (1) কুইঙ্কের নল দ্বারা :** এই যন্ত্রে দুইটি শব্দ-তরঙ্গ, একই উৎস হইতে একই দশায় উৎপন্ন হইয়া বিভিন্ন রাস্তা পরিক্রমণের পর একই বিন্দুতে মিলিত হয়। ইহার ফলে ঐ বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্য, উচ্চতম কিংবা নিম্নতম হইবে যখন তরঙ্গ দুইটির পরিক্রান্ত পথের দৈর্ঘ্য-পার্থক্য যথাক্রমে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের ($\lambda/2$) যুগ্ম কিংবা অযুগ্ম গুণিতক হইবে।

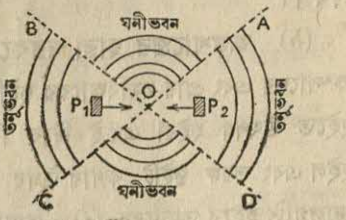


চিত্র 2·19 : কুইঙ্কের নল দ্বারা শব্দের ব্যতিচার

কুইঙ্কের যন্ত্রে দুইটি নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের নল আছে যাহার একটির (ABC) মধ্যে অপরটি (DEF) চলাফেরা করিতে পারে। ABC নলের দুই বিপরীত পাশে দুইটি পার্শ্বনল (T_1 ও T_2) আছে [2·19নং চিত্র]। যখন T_1 নলের মুখে উচ্চ কম্পাঙ্কের একটি স্বরশলাকাকে (T) কম্পনশীল অবস্থায় ধরা হয় তখন উহা দ্বারা সৃষ্ট শব্দ-তরঙ্গের

একভাগ T_1BT_2 পথ অতিক্রম করিয়া T_2 নলে পৌঁছে এবং অপরভাগ DEF নলের $T_1\,ET_2$ পথ অতিক্রম করিয়া T_2 নলে পৌঁছায়। T_2 নলে কোন শব্দ-গ্রাহক যন্ত্র থাকিলে তাহা দ্বারা T_2 নলে পৌঁছান শব্দের প্রাবল্য বেশী কিংবা কম তাহা স্থির করা যাইবে। প্রথমে T_1ET_2 এবং T_1BT_2 পথ দুইটির দৈর্ঘ্য সমান করিলে, দুই পথে আসা শব্দ-তরঙ্গ একই দশায় মিলিত হইয়া T_2 নলে শব্দের প্রাবল্য বেশী করিবে। এইবার DEF নলকে বাহিরের দিকে টানিয়া, $T_1E_1T_2$ পথের দৈর্ঘ্য বেশী করিলে, T_2 নলে শব্দের প্রাবল্য যথাক্রমে কম কিংবা বেশী হইবে যখন $(T_1E_1T_2—T_1BT_2)$, $n\lambda/2$-এর সমান হইবে যদি n যথাক্রমে অযুগ্ম কিংবা যুগ্ম সংখ্যা হয় [2.19 নং চিত্র]।

(2) **কম্পনশীল স্বরশলাকার দ্বারা** :—স্বরশলাকার কম্পনে যখন শব্দের সৃষ্টি হয় তখন উহার বাহুদ্বয় (P_1 ও P_2) একযোগে পর্যায়ক্রমে ভিতরের দিকে আসে এবং বাহিরের দিকে যায়। মনে কর কোন মুহূর্তে, শলাকার বাহু দুইটি (P_1 ও P_2) একযোগে ভিতরের দিকে আসিতেছে (2.20 নং চিত্র)। ইহার ফলে শলাকার বাহু দুইটির বাহিরের বাতাসে তনূভবনের সৃষ্টি হইবে এবং ঐ বাহুদ্বয়ের ভিতরের বাতাসে ঘনীভবন সৃষ্টি হইবে [2·20 নং চিত্র দেখ]। অতএব তনূভবন OP_1 এবং OP_2-এর অভিমুখে অগ্রসর হইতে থাকিবে এবং ঘনীভবন P_1OP_2 সরলরেখার সমকোণের দুই দিকে অগ্রসর হইতে থাকিবে। একই উৎস হইতে উৎপন্ন ঘনীভবন ও তনূভবন AO, BO, CO এবং DO সরলরেখা বরাবর মিলিত হইতেছে। কাজেই ঐ সব সরলরেখা বরাবর কোন শব্দ-তরঙ্গ থাকিবে না; অর্থাৎ কোন শব্দ শুনা যাইবে না। পরীক্ষা দ্বারাও প্রমাণ করা যায় যে একটি কম্পনশীল স্বরশালাকা কানের কাছে ধরিয়া উহাকে একবার ঘুরাইলে উহার চারিটি অবস্থানে কোন শব্দ শুনা যায় না।



চিত্র 2.20 : স্বরশালাকার দ্বারা শব্দের ব্যতিচার

(3) **স্থাণু-তরঙ্গের গঠন দ্বারা** :—যখন দুইটি সর্বসম শব্দ-তরঙ্গ, বিপরীত দিকে একই বেগে এবং একই সরলরেখায় অগ্রসর হয় তখন তাহাদের উপরিপাতনের ফলে যে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় তাহাও শব্দের ব্যতিচারের একটি দৃষ্টান্ত। এইরূপ ব্যতিচারে কতকগুলি সমদূরবর্তী কণা পাওয়া যায় যাহাদের কম্পনবিস্তার পর্যায়ক্রমে উচ্চতম (সুস্পন্দ বিন্দু) এবং নিম্নতম (নিস্পন্দ বিন্দু) হয়। শব্দ-তরঙ্গের এইরূপ ব্যতিচার, তারের তির্যক কম্পনে কিংবা অর্গ্যান নলের বায়ুস্তম্ভে হয় [যথাক্রমে 2-14 (1) পরিচ্ছেদ এবং 2-17 (c) পরিচ্ছেদ দেখ]।

2-21. স্বরকম্প (Beats) ঃ যখন দুইটি **প্রায়** সমকম্পাঙ্কের এবং সমবিস্তারের তরঙ্গশ্রেণী একই দিকে বিভিন্ন রাস্তায় যাইয়া একটি কণার উপর আপতিত হয় তখন কণার যে লব্ধি কম্পন হয়, তাহার বিস্তার পর্যায়ক্রমে উচ্চতম এবং নিম্নতম হইবে। ইহার ফলে ঐ কণার স্থানে, শব্দের প্রাবল্যও পর্যায়ক্রমে উচ্চতম এবং নিম্নতম হইবে। এই ঘটনাকে **স্বরকম্প** বলে।

যেহেতু দুইটি তরঙ্গশ্রেণী বিভিন্ন উৎস হইতে আসিতেছে এবং তাহাদের কম্পাঙ্ক **প্রায় সমান** (পুরাপুরি সমান নয়) সেইহেতু কণার স্থানে মিলিত তরঙ্গ দুইটি পর্যায়ক্রমে সমদশায় এবং বিপরীত দশায় আসিবে, যাহা দ্বারা শব্দের প্রাবল্যও যথাক্রমে পর্যায়ক্রমে বেশী এবং কম হইবে। প্রতি সেকেণ্ডে শব্দের উচ্চতম প্রাবল্যের সংখ্যা অথবা নিম্নতম প্রাবল্যের সংখ্যা (যাহাকে স্বরকম্পের সংখ্যা বলে), দুইটি স্বতন্ত্র শব্দ-তরঙ্গের কম্পাঙ্কের পার্থক্যের সমান হইবে। এই তত্ত্ব, (*a*) লেখচিত্র দ্বারা কিংবা (*b*) অঙ্কশাস্ত্র দ্বারা নির্ধারণ করা যায়।

(*a*) **লেখচিত্রের দ্বারা স্বরকম্পের সংখ্যা নির্ধারণ** ঃ—[1-8(*c*) পরিচ্ছেদ দেখ]।

(*b*) **অঙ্কশাস্ত্রের দ্বারা স্বরকম্পের সংখ্যা নির্ধারণ** ঃ—মনে কর প্রায় সম-কম্পাঙ্কের এবং প্রায় সমবিস্তারের দুইটি সরল দোলগতিসম্পন্ন তরঙ্গ, দুইটি পৃথক উৎস হইতে উৎপন্ন হইয়া একই দিকে বিভিন্ন পথে যাইয়া একটি কণার উপর আপতিত হইল এবং তরঙ্গ দুইটি কণার উপর পৃথকভাবে ক্রিয়া করিলে উহার যে দুইটি সরল দোলগতি হইবে তাহাদের (*i*) প্রাথমিক দশা সমান থাকিবে, (*ii*) কম্পনবিস্তার a_1 ও a_2 হইবে, (*iii*) কম্পাঙ্ক হইবে $N_1 = \frac{m+n}{2\pi}$ ও $N_2 = \frac{m-n}{2\pi}$ [এখানে m-এর তুলনায় n **খুব ছোট**] এবং (*iv*) t সময়ে কণার সরণ হইবে, $y_1 = a_1 \sin(m+n)t$ ও $y_2 = a_2 \sin(m-n)t$। কণার উপর যখন ঐ দুইটি সরল দোলগতি একযোগে ক্রিয়া করে তখন t সময়ে কণার যে লব্ধি সরণ হইবে তাহা

$$y = a_1 \sin(m+n)t + a_2 \sin(m-n)t \text{ ; অথবা,}$$

$$y = \sin mt(a_1 \cos nt + a_2 \cos nt) + \cos mt(a_1 \sin nt - a_2 \sin nt)$$

অথবা, $y = A \sin(mt+\phi)$ ... ... (2-21*a*)

এখানে, $A \sin\phi = \sin nt(a_1 - a_2)$; $A \cos\phi = \cos nt(a_1 + a_2)$

অথবা, $A^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1 a_2 \cos 2nt$ ... ... (2-21*b*)

এবং $\tan\phi = \frac{a_1 - a_2}{a_1 + a_2} \tan nt$; $N_1 - N_2 = \frac{2n}{2\pi}$ ... ... (2-21*c*)

(2-21b) ও (2-21c) সমীকরণগুলি হইতে যে সব সিদ্ধান্তে আসা যায় তাহা নিম্নরূপ :

(1) যখন $\cos 2nt=+1$; অর্থাৎ $2nt=2p\pi (p=0, 1, 2, 3$ ইত্যাদি), তখন $A=(a_1+a_2)$ [(2-21b) সমীকরণ হইতে] এবং $\phi=0$ [(2-21c) সমীকরণ হইতে]। অতএব কণার উচ্চতম কম্পনবিস্তার (a_1+a_2) যে যে সময়ে পাওয়া যাইবে তাহা $t=\frac{2p\pi}{2n}$ সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হইবে এবং দুইটি নিকটতম উচ্চ কম্পন-বস্তারের মধ্যে সময় হই $t'=\frac{2\pi}{2n}$ সুতরাং এক সেকেণ্ড-সময়ের মধ্যে কণার উচ্চতম কম্পন-বিস্তারের ংখ্যা হইবে $\frac{2n}{2\pi}=N_1-N_2$। অতএব প্রতি সেকেণ্ডে স্বর-কম্পের সংখ্যা হইবে $\frac{2}{2\pi}$ = দুই তরঙ্গের কম্পাঙ্কের পার্থক্য $=(N_1-N_2)$।

(2) যখন, $\cos 2nt=-1$; অর্থাৎ $2nt=(2p+1)\pi$ [$p=0, 1, 2, 3,$ ইত্যাদি], তখন $A=(a_1-a_2)$ [(2-21b) সমীকরণ হইতে] এবং $\phi=0$ [(2-21c) সমীকরণ হইতে]। অতএব নিম্নতম কম্পনবিস্তার (a_1-a_2) যে যে সময়ে পাওয়া যাইবে তাহা, $t=\frac{(2p+1)\pi}{2n}$ সমীকরণ দ্বারা স্থিরীকৃত হইবে এবং দুইটি নিকটতম নিম্ন কম্পন-বিস্তারের মধ্যের ময় হইবে $t''=\frac{2\pi}{2n}$। সুতরাং এক সেকেণ্ড সময়ের মধ্যে কণার নিম্নতম কম্পন-বিস্তারের সংখ্যা হইবে $=\frac{2n}{2\pi}=N_1-N_2$। অতএব প্রতিসেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা হইবে $=\frac{2n}{2\pi}=$ দুই তরঙ্গের কম্পাঙ্কের পার্থক্য $=N_1-N_2$।

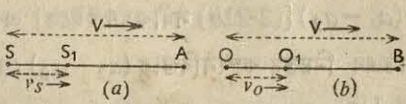
কণার-স্থানে শব্দের তীব্রতা বেশী কিংবা কম হইবে যখন কণার লব্ধি কম্পন-বিস্তার যথাক্রমে উচ্চতম কিংবা নিম্নতম হইবে। কোনও স্থানে শব্দের তীব্রতা পর্যায়ক্রমে বেশী-কম হওয়াকেই **স্বরকম্প** বলে। প্রতিসেকেণ্ডে, শব্দের প্রাবল্যের যে উচ্চতম সংখ্যা (কিংবা নিম্নতম সংখ্যা) পাওয়া যায় তাহাকেই **স্বরকম্পের কম্পন-সংখ্যা** বলে।

2-22. ডপ্লার-তত্ত্ব (Doppler Effect) ঃ যখন কোন শব্দের উৎসের এবং ঐ শব্দের শ্রোতার মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকে, তখন শ্রোতা যে শব্দ শুনিতে পায় তাহার কম্পাঙ্ক ($=N'$) শব্দের উৎসের প্রকৃত কম্পাঙ্ক ($=N$) হইতে ভিন্ন হয়। এই ঘটনাকে **ডপ্লার-তত্ত্ব** বলে এবং ($N \sim N'$)-কে বলা হয় **ডপ্লার-পরিবর্তন** (Doppler shift)।

ব্যাখ্যা ঃ যখন শব্দের উৎস এবং শ্রোতার আপেক্ষিক গতির জন্য, উহাদের মধ্যের দূরত্ব ক্রমশঃ কমিতে কিংবা বাড়িতে থাকে তখন প্রতিসেকেণ্ডে যত সংখ্যক

তরঙ্গ শ্রোতার কানে প্রবেশ করিবে তাহা যথাক্রমে বেশী কিংবা কম হইবে। ইহার ফলে, শ্রোতার কাছে শব্দের কম্পাঙ্ক (N') যথাক্রমে বেশী কিংবা কম বলিয়া মনে হইবে। নিম্নের আলোচনা হইতে ইহা সুস্পষ্ট হইবে।

মনে কর শব্দের উৎস প্রতি সেকেণ্ডে N সংখ্যক তরঙ্গ সৃষ্টি করিতেছে এবং শব্দের উৎস, শব্দ-তরঙ্গ ও শ্রোতা একই সরলরেখায় একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে যথাক্রমে v_s, V ও v_0 বেগে চলিতেছে [2.21 নং চিত্র দেখ]। কোন এক সেকেণ্ডের প্রথমে, উৎস S স্থানে থাকিয়া যে প্রথম শব্দ-তরঙ্গ সৃষ্টি করিল তাহা ঐ সেকেণ্ডের শেষে A স্থানে পৌঁছিবে, কারণ $SA=V=$ শব্দের বেগ। এক সেকেণ্ডের শেষে উৎস যখন S_1 স্থানে আসিল ($SS_1=v_s=$উৎসের বেগ) তখনই উহা উহার N-তম তরঙ্গ উৎপন্ন করিল [2.21(a)নং চিত্র]। সুতরাং $S_1A=(V-v_s)$ দৈর্ঘ্যের মধ্যে N সংখ্যক তরঙ্গ জমা হইল যাহার প্রত্যেকটির দৈর্ঘ্য $=\lambda=\dfrac{V-v_s}{N}$ ··(2-22a)



চিত্র 2.21 : ডপ্‌লার-তত্ত্ব

আবার কোন এক সেকেণ্ডের প্রথমে, শ্রোতা O স্থানে থাকিয়া যে শব্দ-তরঙ্গটি গ্রহণ করিল তাহা ঐ সেকেণ্ডের শেষে B স্থানে যাইবে কারণ $OB=V=$শব্দের বেগ [2.21(b)নং চিত্র]। এক সেকেণ্ডের শেষে শ্রোতা যখন O_1 স্থানে পৌঁছিল ($OO_1=v_0=$শ্রোতার বেগ) তখন ঐ সময়ে যে তরঙ্গটি তাহার কাছে পৌঁছিল তাহা ঐ স্থানেই থাকিবে। অতএব এক সেকেণ্ড সময়ের মধ্যে শ্রোতা যত সংখ্যক তরঙ্গ গ্রহণ করিল তাহারা $O_1B=(V-v_0)$ দৈর্ঘ্যের মধ্যে থাকিবে। সুতরাং এক সেকেণ্ড সময়ে শ্রোতা যত সংখ্যক তরঙ্গ গ্রহণ করিল তাহা হইবে

$$N'=\frac{V-v_0}{\lambda}=\frac{V-v_0}{V-v_s}N \quad \cdots \quad \cdots(2\text{-}22b)$$

যদি শব্দের গতির অভিমুখে বায়ু w বেগে প্রবাহিত হয় তাহা হইলে V স্থানে $(V+w)$ হইবে। অতএব, $N'=\dfrac{V+w-v_0}{V+w-v_s}N$ ··· ···(2-22c)

এখানে সেই দিক্‌কেই সর্বদা ধনাত্মক অভিমুখ (positive direction) ধরা হয়, যে দিকে শব্দ উৎস হইতে শ্রোতার দিকে যায়।

অনুসিদ্ধান্ত :—(1) যখন বায়ুপ্রবাহ থাকিবে না এবং **শ্রোতা স্থির থাকিবে** তখন $w=v_0=0$। এখন উৎস যদি v বেগে শ্রোতার দিকে কিংবা শ্রোতার বিপরীত

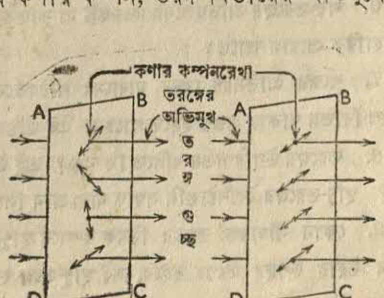
দিকে অগ্রসর হয় তাহা হইলে শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে হইবে, $N_1 = \frac{V}{V-v}N$ এবং $N_1' = \frac{V}{V+v}N$ প্রথম ক্ষেত্রে, $N_1 > N$ এবং ডপ্লার পরিবর্তন হইবে $(N_1 - N)$ আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $N_1' < N$ এবং ডপ্লার পরিবর্তন $= (N - N_1')$।

(2) যখন বায়ুপ্রবাহ থাকিবে না এবং **উৎস স্থির থাকিবে** তখন $w = v_s = 0$। এখন শ্রোতা যদি v বেগে উৎসের দিকে কিংবা উৎসের বিপরীত দিকে অগ্রসর হয় তাহা হইলে শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক যথাক্রমে হইবে, $N_2 = \frac{V+v}{V}N$ এবং $N_2' = \frac{V-v}{V}N$। প্রথম ক্ষেত্রে $N_2 > N$ এবং ডপ্লার পরিবর্তন হইবে $(N_2 - N)$; আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $N_2' < N$ এবং ডপ্লার পরিবর্তন হইবে $(N - N_2')$।

(3) যখন স্থির বায়ুতে, উৎস v বেগে স্থির শ্রোতার দিকে অগ্রসর হইবে তখন শ্রোতার শুনা শব্দের কম্পাঙ্ক $N_1 = \frac{V}{V-v}N$। কিন্তু শ্রোতা যখন v বেগে স্থির উৎসের দিকে অগ্রসর হইবে তখন শ্রোতার শুনা শব্দের কম্পাঙ্ক $N_2 = \frac{V+v}{V}N$।

সুতরাং $N_1 - N_2 = \left(\frac{V}{V-v} - \frac{V+v}{V}\right)N = \frac{v^2}{V(V-v)}$। এখানে $V > v$, কাজেই $N_1 > N_2$।

2-23. সমবর্তন (Polarisation) : সমবর্তন শব্দটি কেবলমাত্র তির্যক তরঙ্গের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য যেখানে মাধ্যমের কণার কম্পন, তরঙ্গ বিস্তারের অভিমুখের সমকোণের দিকে হয়। সুতরাং তরঙ্গ-বিস্তারের অভিমুখের সমকোণে একটি সমতল ($ABCD$) অঙ্কন করিলে, তরঙ্গস্থিত কণার কম্পন ঐ তলের যে কোন দিকে হইতে পারে [2.22(a) নং চিত্র দেখ]। যখন অনেকগুলি তরঙ্গ একসঙ্গে একই দিকে অগ্রসর হয় তখন স্বভাবতই বিভিন্ন তরঙ্গস্থিত কণার কম্পন,



চিত্র 2.22 : তরঙ্গের সমবর্তন

তরঙ্গগুলির গতিপথের সমকোণে অঙ্কিত সমতলের উপর থাকিলেও উহাদের কম্পন

রেখাগুলি পরস্পর সমান্তরাল থাকিবে না। এই প্রকার তরঙ্গগুচ্ছকে **অসমবর্তিত তরঙ্গ-গুচ্ছ** (Unpolarised waves) বলে [2.22 (a) নং চিত্র দেখ]।

যদি কোন উপায়ে, বিভিন্ন তরঙ্গস্থিত কণার কম্পনরেখা পরস্পর সমান্তরাল করা যায় তাহা হইলে ঐ তরঙ্গগুচ্ছকে **সমবর্তিত তরঙ্গগুচ্ছ** (Polarised waves) বলে [2·22 (b) নং চিত্র দেখ]। এই ঘটনা আলোকের ক্ষেত্রে বিশেষভাবে পরিলক্ষিত হয়, কারণ আলোকতরঙ্গ তির্যকতরঙ্গ। যখন আলোকের রশ্মিগুচ্ছের (আলোক তরঙ্গের গতিপথকে আলোকরশ্মি বলে) সমকোণে একটি সমতল ($ABCD$) অঙ্কন করা যায়, তখন অসমবর্তিত আলোকের ক্ষেত্রে বিভিন্ন রশ্মির কম্পনরেখা $ABCD$ তলে থাকিলেও উহারা বিভিন্ন দিকে থাকে, পরস্পর সমান্তরাল থাকে না [2.22 (a) নং চিত্র দেখ]। যদি কোন উপায়ে, প্রত্যেক আলোক রশ্মির কম্পন রেখা একই দিকে আনিয়া পরস্পরের সমান্তরাল করা যায় তাহা হইলে ঐ আলোক-রশ্মিগুলি সমবর্তিত (Polarised) হইল [2.22 (b)নং চিত্র]।

বিষয়ভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Subjective Questions] [অধ্যায় 2]

1. কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে তরঙ্গ কিভাবে গঠিত হয় তাহা চিত্র সহকারে বুঝাইয়া দাও। তরঙ্গ কয়প্রকারের হয় তাহাদের বৈশিষ্ট্যগুলি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। [Art. 2-1]

2. তরঙ্গ সম্বন্ধীয় নিম্নলিখিত রাশিগুলির ব্যাখ্যা কর :—(i) তরঙ্গ-বিস্তার, (ii) তরঙ্গের পর্যায়কাল, (iii) তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য, (iv) তরঙ্গের বেগ। তরঙ্গের বেগ (v), তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (λ) এবং তরঙ্গের কম্পাঙ্কের (n) মধ্যে সম্বন্ধ স্থির কর। [Art. 2-2]

3. তরঙ্গ যে বিভিন্ন প্রকারের হইতে পারে তাহা উদাহরণ দ্বারা বুঝাইয়া দাও। বায়ুতে শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি কিরূপ হইবে এবং এই তরঙ্গ কিভাবে বিস্তার লাভ করে? [Arts. 2-3 ; 2-4]

4. অপ্রতিরুদ্ধ সচল তরঙ্গ বলিতে কি বুঝ ? উহার বৈশিষ্ট্যগুলি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। [Art. 2-5]

5. পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ কর যে আলোকের ন্যায় শব্দ-তরঙ্গেরও প্রতিফলন এবং প্রতিসরণ হইতে পারে। [Arts. 2-6 ; 2-9]

6. শব্দ-তরঙ্গের প্রতিফলনের কয়েকটি প্রাকৃতিক দৃষ্টান্তের উল্লেখ কর এবং ঐরূপ প্রতিফলনের কি কি ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে ? [Arts. 2-7 ; 2-8]

7. শব্দের প্রতিসরণ যেমন মাধ্যমের পরিবর্তনে হইতে পারে সেইরূপ একই মাধ্যমের বিভিন্ন স্তরের অবস্থা বিভিন্ন থাকার জন্যও হইতে পারে। এই উক্তির তাৎপর্য বুঝাইয়া দাও। [Arts. 2-9 ; 2-10]

8. তরঙ্গের উপরিপাতন বলিতে কি বুঝ ? এই উপরিপাতন কি কি অবস্থায় হইলে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয় ? স্থাণু-তরঙ্গের বৈশিষ্ট্যগুলি সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। [Arts. 2-11 ; 2-12 ; 2-13]

9. কোন সীমাবদ্ধ তারের তির্যক কম্পনে স্থাণু-তরঙ্গ কিভাবে গঠিত হয় ? তারের যে স্থাণু-তরঙ্গের গঠনে উহার উপস্বর উৎপন্ন হইবে, সেই স্থাণু-তরঙ্গ সৃষ্টি করিবার পদ্ধতি কিরূপ হইবে ? তারের বিভিন্ন উপস্বরগুলির কম্পাঙ্ক কিভাবে থাকে ? [Art. 2-14]

10. তারের তির্যক কম্পনের সূত্রগুলির উল্লেখ কর। একটি সনোমিটারের সাহায্যে (i) ঐ সূত্রগুলির সত্যতা কি ভাবে প্রমাণ করিবে এবং (ii) একটি সুরশলাকার কম্পাঙ্ক কি ভাবে নির্ণয় করিবে ? [Arts. 2-15 ; 2-16]

11. অর্গ্যান নলের গঠন সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। উহাতে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি কিভাবে হয়? বিভিন্ন প্রকার অর্গ্যান নলের বায়ুস্তম্ভের কম্পনে যে মূলসুর ও উপসুরগুলির সৃষ্টি হয় তাহাদের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। এমন একটি পরীক্ষার বর্ণনা কর যাহা দ্বারা খোলা নলের সুস্পন্দ এবং নিস্পন্দ বিন্দুগুলির অবস্থান দেখান যায়। [Arts. 2-17 ; 2-18 ; 2-19]

12. তরঙ্গের ব্যতিচার বলিতে কি বুঝ? স্থায়ী ব্যতিচার হওয়ার শর্ত কি? ব্যতিচার দেখাইবার দুইটি পরীক্ষার বর্ণনা কর। [Art. 2-20]

13. স্বরকম্প কাহাকে বলে এবং কিভাবে গঠিত হয়? উহার ব্যাখ্যা (*a*) লেখচিত্রের দ্বারা কিংবা (*b*) অঙ্কশাস্ত্রের দ্বারা কিভাবে দেওয়া যায়? [Art. 2-21]

14. ডপ্‌লার-তত্ত্ব ও সমবর্তন সম্বন্ধে যাহা জান লিখ। প্রমাণ কর যে, যখন শব্দের উৎস এবং শ্রোতা পর্যায়ক্রমে স্থির থাকে এবং একটি অপরটির (যে স্থির আছে) দিকে একই বেগে অগ্রসর হয় তখন উৎসের অগ্রসরের জন্য শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক, শ্রোতার অগ্রসরের সময়ের কম্পাঙ্ক অপেক্ষা বেশী হইবে। [Art. 2-22 ; 2-23]

বাস্তবভিত্তিক প্রশ্নাবলী [Objective type Questions] [অধ্যায় 2]

A. Multiple choice type : (1) কোন মাধ্যমের মধ্যে তরঙ্গের সৃষ্টি করিলে কণাগুলির অবস্থা কি হয়?—তরঙ্গের সঙ্গে কণাগুলিও চলিতে থাকে ; তরঙ্গ-অগ্রসর হইতে থাকিলেও, কণাগুলি হয় তরঙ্গের অভিমুখে না হয় তরঙ্গের অভিমুখের সমকোণে, একটি নির্দিষ্ট বিস্তারে কাঁপিতে থাকে। (2) শব্দের উৎস ও শ্রোতার মধ্যে আপেক্ষিক গতি থাকিলে কি হইবে?—উৎস যে শব্দ উৎপন্ন করিবে এবং শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে, ইহাদের কাহারও কম্পাঙ্কের পরিবর্তন হইবে না, উহাদের আপেক্ষিক গতির জন্য যদি উহাদের মধ্যের দূরত্ব কমিয়া যায় তাহা হইলে শ্রোতার শুনা শব্দের কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পাইবে। (3) দুইটি সর্বসম তরঙ্গ একই সরলরেখায় বিপরীত দিকে অগ্রসর হইলে কি হইবে?—স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হইবে যাহাতে পর্যায়ক্রমে নিস্পন্দ ও সুস্পন্দ বিন্দু উৎপন্ন হইবে ; স্বরকম্পের সৃষ্টি হইবে। (4) স্বরকম্প কখন হয়?—যখন দুইটি সমকম্পাঙ্কের এবং সমবিস্তারের তরঙ্গ একই দিকে যাইয়া কোন কণার উপর আপতিত হয় ; যখন দুইটি প্রায় সমকম্পাঙ্কের এবং প্রায় সমবিস্তারের তরঙ্গ একই দিক যাইয়া একটি কণার উপর আপতিত হয় ; যখন দুইটি প্রায় সমকম্পাঙ্কের এবং প্রায় সমবিস্তারের তরঙ্গ বিপরীত দিক হইতে অগ্রসর হইয়া একটি কণার উপর আপতিত হয়।

B. Recall type : (1) যখন শব্দের উৎস ও শ্রোতার মধ্যে—গতি থাকে তখন শ্রোতা যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক উৎসের শব্দের—হইতে—হইবে। (2) যখন বায়ুপ্রবাহ একটি সরু লম্বা—হইতে নির্গত হইয়া, দূরে অবস্থিত একটি ধারালো পাতের গায়ে লাগে তখন ঐ বায়ুপ্রবাহের একটি ন্যূনতম বেগের জন্য যে—উৎপন্ন হয় তাহার কম্পাঙ্ক এবং নলের মধ্যস্থ বায়ুস্তম্ভের মূলসুরের কম্পাঙ্কের সমান হয়। (3) বদ্ধনলে যে উপসুর উৎপন্ন হয় তাহাদের কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের—গুণিতক। (4) সমবর্তনের ঘটনা কেবলমাত্র—তরঙ্গের ক্ষেত্রেই পাওয়া যায় অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের ক্ষেত্রে সম্ভব নয়।

C. True or False type : (1) প্রতিধ্বনি, মূল ধ্বনির পুনরাবৃত্তি মাত্র ইহা সব সময়েই এবং সব অবস্থাতেই হইতে পারে। (2) রাত্রিবেলায়, নীচের বায়ুস্তরগুলির উষ্ণতা বেশী থাকে, এজন্য রাত্রে শব্দ অনেক দূরে শুনা যায়। (3) একটি টান করিয়া বাঁধা তারের দৈর্ঘ্য দ্বিগুণ করিলে উহার কম্পাঙ্কও দ্বিগুণ হইয়া যাইবে। (4) একটি খোলা নলের উপরের মুখ হাত দিয়া বন্ধ করিলে উহার কম্পাঙ্ক পূর্বের কম্পাঙ্কের অর্ধেক হইবে। (5) একটি শব্দসৃষ্টিকারী এঞ্জিন প্ল্যাটফরমের দিকে দ্রুত আসিতে থাকিলে উহার শব্দের তীক্ষ্ণতা প্ল্যাটফরমে দাঁড়িয়ে থাকা লোকের কাছে বেশী বলিয়া মনে হইবে।

কষা-অঙ্ক (Worked-out sums) [অধ্যায় 2]

1. দুইটি সুরশলাকা (A ও B) এক সঙ্গে শব্দ উৎপন্ন করিলে, প্রতি সেকেণ্ডে 8-টি স্বরকম্প শুনা যায়। A শলাকা 32 সে.মি. বন্ধ নলের সহিত সমস্বরে আসে এবং B শলাকা 33 সে.মি. বন্ধ নলের সহিত সমস্বরে আসে। শলাকা দুইটির কম্পাঙ্ক কত ?

উঃ A শলাকার ক্ষেত্রে, $n_a = \frac{V}{4 \times 32}$; এবং B শলাকার ক্ষেত্রে, $n_b = \frac{V}{4 \times 33}$ কাজেই, $\frac{n_a}{n_b} = \frac{33}{32}$; অথবা, $\frac{n_a - n_b}{n_b} = \frac{1}{32}$। কিন্তু $n_a - n_b = 8$; সুতরাং, $\frac{8}{n_b} = \frac{1}{32}$; অথবা, $n_b = 256$; এবং $n_a = 256 + 8 = 264$।

2. একটি লোক 400 কম্পাঙ্কের সুরশলাকার পশ্চাতে দাঁড়াইয়া আছে। এক্ষণে ঐ শলাকাকে, উহার কম্পনশীল অবস্থায়, লোক এবং শলাকার সামনে অবস্থিত দেওয়ালের দিকে 4 মিটার/সেকেণ্ড বেগে লইয়া গেলে, লোকটি মূল ও প্রতিফলিত তরঙ্গের উপরিপাতনের জন্য যে স্বরকম্প হইবে তাহার কত সংখ্যা প্রতি সেকেণ্ডে শুনিবে ?

উঃ। (*i*) শব্দ সৃষ্টিকারী শলাকা, স্থির শ্রোতা হইতে 4 মি./সে. বেগে দূরে সরিয়া যাইতেছে। কাজেই শ্রোতা শলাকার যে শব্দ শুনিবে তাহার কম্পাঙ্ক হইবে $N' = \frac{V}{V + v_s} N = \frac{332}{332 + 4} 400 = 395{\cdot}3$।

(*ii*) সুরশলাকা যখন দেওয়ালের দিকে 4 মি./সে. বেগে অগ্রসর হয় তখন যে কম্পাঙ্কের শব্দ দেওয়ালের উপর আপতিত হইবে তাহা হইবে,

$$N'' \frac{V}{V - v_s} N = \frac{332}{332 - 4} 400 = 404{\cdot}9 \text{ ।}$$

(*iii*) স্থির শ্রোতা এক সেকেণ্ডে যতগুলি স্বরকম্প শুনিতে পাইবে তাহা হইবে $N'' - N' = 404{\cdot}9 - 395{\cdot}3 = 9{\cdot}6$ সংখ্যক স্বরকম্প প্রতি সেকেণ্ডে।

3. একটি খোলা অর্গ্যান নলের দৈর্ঘ্য 66 সে.মি.। নলের মূল সুরের কম্পাঙ্ক এবং একটি টান করিয়া বাঁধা 20 সে.মি. তারের মূলসুরের কম্পাঙ্ক সমান। তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর ·1 গ্রাম/সে.মি. হইলে এবং বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ 330 মিটার/সেকেণ্ড হইলে তারের টান কিলোগ্রাম-ভারে কত হইবে ?

উঃ। খোলা নলের মূলসুরের-কম্পাঙ্ক, $n_0 = \frac{V}{2l_0} = \frac{33000}{2 \times 66} = 250$।

আবার $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$; অথবা, $250=\frac{1}{2\times 20}\sqrt{\frac{T}{\cdot 1}}$;

অথবা, $T=10^7$ ডাইন$=\frac{10^7}{980\times 1000}=10\cdot 2$ কিলোগ্রাম-ভার।

4. একটি লোক, দুইটি সমান্তরাল পাহাড়ের মধ্যস্থ কোনও স্থান হইতে বন্দুক ছুঁড়িল। বন্দুক ছোঁড়ার $1\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড এবং $2\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পর সে দুইটি প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইল। তৃতীয় প্রতিধ্বনি কখন শুনিতে পাইবে? দুই পাহাড়ের মধ্যের দূরত্ব কত ছিল? বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

উঃ। মনে কর লোকটি প্রথম পাহাড় হইতে d_1 ফুট এবং দ্বিতীয় পাহাড় হইতে d_2 ফুট দূরে আছে। কাজেই দুই পাহাড়ের মধ্যে দূরত্ব $d=d_1+d_2$।

প্রথম পাহাড় হইতে শব্দের প্রতিফলনে, $1\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পরে প্রথম প্রতিধ্বনি শুনা গেল। অতএব, $1\frac{1}{2}=\frac{2d_1}{1120}$; $d_1=840$ ফুট। দ্বিতীয় পাহাড় হইতে শব্দের প্রতিফলনে, $2\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড পর দ্বিতীয় প্রতিধ্বনি শুনা যাইবে। সুতরাং $2\frac{1}{2}=\frac{2d_2}{1120}$; $d_2=1400$ ফুট। অতএব, $d=840+1400=2240$ ফুট।

যে শব্দ প্রথমে প্রথম পাহাড়ের দিকে গিয়াছিল তাহা দুই পাহাড়ে পর পর প্রতিফলনের পর লোকটির কাছে ফিরিয়া আসিতে সময় লাগিবে $t=1\frac{1}{2}+2\frac{1}{2}=$ 4 সেকেণ্ড। অনুরূপভাবে, যে শব্দ প্রথমে দ্বিতীয় পাহাড়ের দিকে গিয়াছিল তাহা দুই পাহাড়ে পর পর প্রতিফলনের পর লোকটির কাছে ফিরিয়া আসিতে সময় লইবে $t'=2\frac{1}{2}+1\frac{1}{2}=4$ সেকেণ্ড। যেহেতু $t=t'=4$ সেকেণ্ড, লোকটি 4 সেকেণ্ড পর তৃতীয় প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইবে।

5. কুইঙ্কের যন্ত্রের একটি পার্শ্বনলের সামনে একটি কম্পনশীল স্বরশলাকা ধরিলে, উহার দ্বিতীয় পার্শ্বনলে প্রথমবারের জন্য কোন শব্দ শুনা যায় না যখন শব্দের একটি রাস্তার দৈর্ঘ্য 12 সে. মি. এবং অপর রাস্তার দৈর্ঘ্য 36 সে. মি.। যদি শব্দের বেগ 336 মিটার / সেকেণ্ড হয় তাহা হইলে শলাকার কম্পাঙ্ক কত হইবে?

উঃ। প্রথম বারের জন্য যখন দ্বিতীয় পার্শ্বনলে শব্দ পাওয়া গেল না তখন দুই পথের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের (λ) অর্ধেক। সুতরাং $36-12=\frac{\lambda}{2}$; অথবা, $\lambda=48$ সে. মি.। কিন্তু $n=\frac{V}{\lambda}=\frac{336\times 100}{48}=700.$

অনুশীলনী (Exercise) [অধ্যায় 2]

1. [$V = n\lambda$ **সমীকরণের প্রয়োগ :**] 560 কম্পাঙ্কের স্বরশলাকা যখন 100-টি পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে তখন শব্দ কতদূর যাইবে? শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড। শব্দ যখন 154 ফুট দূরে যাইবে তখন শলাকার কত সংখ্যক কম্পন হইবে? [**Ans.** (*i*) 200 ফুট ; (*ii*) 77]

2. নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের একটি কম্পনশীল বস্তু, *A* মাধ্যমের মধ্যে 10 সে.মি. এবং *B* মাধ্যমের মধ্যে 15 সে.মি. দৈর্ঘ্যের তরঙ্গ সৃষ্টি করে। *A* ও *B* মাধ্যমের মধ্যে শব্দের বেগের তুলনা কর।

[**Ans.** $Va/Vb = 2/3$]

3. একটি স্বরশলাকার কম্পাঙ্ক 256। যখন শলাকার 16-টি পূর্ণকম্পন হয় তখন উহার শব্দ 20 মিটার অগ্রসর হয়। শলাকার শব্দের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং বাতাসে শব্দের বেগ নির্ণয় কর।

[**Ans.** $\lambda = 120$ সে. মি., $V = 320$ মিটার/সে.]

4. [**প্রতিধ্বনি-জনিত অঙ্ক :**] একটি লোক পর পর 6-টি পদাংশ উচ্চারণ করিল। প্রতিফলককে কত দূরে রাখিলে, (*i*) প্রথম পদাংশের প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইবে, (*ii*) ষষ্ঠ পদাংশের প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইবে এবং (*iii*) শেষের তিনটি পদাংশের প্রতিধ্বনি শুনিতে পাইবে? শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড। [**Ans.** (*i*) 672 ফুট ; (*ii*) 112 ফুট ; (*iii*) 336 ফুট]

5. একটি গতিশীল জাহাজ কতকগুলি প্রতিফলকের সামনে শব্দ সৃষ্টি করিলে সেই শব্দের প্রতিধ্বনি 6 সেকেণ্ড পর শুনা যায়। তিন মিনিট পর জাহাজটি দ্বিতীয়বার শব্দ সৃষ্টি করিলে সেই শব্দের প্রতিধ্বনি 4 সেকেণ্ড পর শুনা যায়। জাহাজের বেগ কত ছিল এবং জাহাজের প্রথম স্থান হইতে প্রতিফলকের দূরত্ব কত ছিল? বাতাসে শব্দের বেগ = 1120 ফুট/সেকেণ্ড।

[**Ans.** $v = 6{\cdot}26$ ফুট/সেকেণ্ড ; $d = 3378{\cdot}78$ ফুট

সংকেত : [প্রথম বারের জন্য $\dfrac{d + (d - 6v)}{1120} = 6$; এবং

দ্বিতীয় বারের জন্য $\dfrac{(d - 180v) + (d - 180v - 4v)}{1120} = 4$. এই দুই সমীকরণ সমাধান করিলে d ও v-এর মান পাওয়া যাইবে]।

6. ঘণ্টায় 120 মাইল বেগে অনুভূমিক রেখায় চলমান এরোপ্লেন হইতে উহার চালক বন্দুক ছুঁড়িল এবং ঐ শব্দ ভূমি হইতে প্রতিফলিত হইয়া চালকের কাছে 3 সেকেণ্ড পর ফিরিয়া আসিল। ভূমি হইতে এরোপ্লেনের উচ্চতা কত ছিল? [**Ans.** 1659 ফুট]

সংকেত : [বিমানটির অনুভূমিক বেগ = ঘণ্টায় 120 মাইল = সেকেণ্ডে 176 ফুট। দেড়সেকেণ্ডে বিমানের অতিক্রান্ত পথ = $\frac{3}{2} \times 176 = 264$ ফুট। শব্দটি যদি বিমানের প্রথম স্থান হইতে x ফুট যাইয়া ভূমির অভিলম্বের সঙ্গে θ কোণে আপতিত হয় তাহা হইলে শব্দের x ফুট যাইতে $1\frac{1}{2}$ সেকেণ্ড সময় লাগিবে। সুতরাং $x = \frac{3}{2} \times 1120 = 1680$ ফুট। ভূমি হইতে বিমানের উচ্চতা h ফুট হইলে, $h = \sqrt{x^2 - 264^2} = \sqrt{1680^2 - 264^2} = 1659$ ফুট।]

7. [**তারের তির্যক কম্পনের অঙ্ক :**] একটি টান তারের দৈর্ঘ্য 25 সে. মি. এবং ইহার ভর ·25 গ্রাম। ইহা যদি 200 কম্পাঙ্কের মূলসুর উৎপন্ন করে তাহা হইলে গ্রাম-ভারে তারের টান কত

[**Ans.** 1024·4 গ্রাম-ভার]

অধ্যায়
3

শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি
(Nature of Sound Waves)

3-1. **স্থিতিস্থাপক মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ (Longitudinal wave in an elastic medium) :** যখন অনুদৈর্ঘ্য শব্দ-তরঙ্গ কোন স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের (কঠিন কিংবা তরল কিংবা গ্যাসীয় মাধ্যম) মধ্য দিয়া যায় তখন ঐ তরঙ্গের বেগ, কঠিনের ক্ষেত্রে ইয়ং গুণাঙ্কের (Y) দ্বারা এবং তরল ও গ্যাসের ক্ষেত্রে আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্কের (E) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। দেখান যাইতে পারে যে কঠিনের মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য-তরঙ্গের বেগ হইবে, $V_s = \sqrt{\frac{Y}{\rho_s}}$ (ρ_s = কঠিনের ঘনত্ব) এবং তরল ও গ্যাসের মধ্যে (তরল ও গ্যাসকে ফ্লুয়িড্ বলে) অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেগ হইবে $V_f = \sqrt{\frac{E}{\rho_f}}$ (ρ_f = ফ্লুয়িডের ঘনত্ব)। পরীক্ষা দ্বারা কোন মাধ্যমের মধ্যে অনুদৈর্ঘ্য শব্দ-তরঙ্গের বেগ নির্ণয় করিলে দেখা যায় যে নির্ণীত বেগ, আর ঐ সূত্রগুলির দ্বারা স্থিরীকৃত বেগ সমান হইতেছে। কাজেই বলা যাইতে পারে যে কোন মাধ্যমের মধ্যে শব্দ যখন অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গরূপে অগ্রসর হয় তখন উহা একটি **স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ** (Elastic waves) মাত্র।

3-2. **কঠিনের মধ্যে শব্দের বেগ (Velocity of sound in solid) :** বায়ো (Biot) লোহার মধ্যে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার জন্য অনেকগুলি ছোট ছোট ফাঁপা নল জোড়া দিয়া একটি লম্বা নল (প্রায় 951 মিটার) গঠন করেন। এই নলের একপ্রান্তে আঘাত করিলে যে শব্দ উৎপন্ন হইবে, তাহা নলের পদার্থের (লোহা) মধ্য দিয়া এবং নলের মধ্যস্থ বাতাসের মধ্য দিয়া অগ্রসর হইয়া নলের অপর প্রান্তে পৌঁছিবে। শব্দের বেগ লোহার মধ্যে বেশী এবং বাতাসের মধ্যে কম। কাজেই নলের অপর প্রান্তের পর্যবেক্ষক প্রথম যে শব্দ শুনিবে তাহা লোহার মধ্য দিয়া যাইবে এবং পরে যে শব্দ শুনিবে তাহা নলের-বাতাসের মধ্য দিয়া যাইবে। এই দুই শব্দের মধ্যের সময়ান্তর t একটি নির্ভুল স্টপ-ওয়াচ দ্বারা নির্ণয় করিয়া এবং বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ জানিয়া, লোহার মধ্যে (অর্থাৎ নলের পদার্থের মধ্যে) শব্দের বেগ নির্ণয় করা হয়।

ধরা যাক্‌, নলের দৈর্ঘ্য l মিটার এবং শব্দের বেগ, লোহার মধ্যে v_i মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। বাতাসের মধ্যে v_a মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। বাতাসের মধ্যে শব্দ যাইতে সময় লইলে $t_1=\frac{l}{v_a}$ এবং লোহার মধ্যে শব্দ যাইতে সময় লইলে $t_2=\frac{l}{v_i}$। যেহেতু $t_1>t_2$, $t=t_1-t_2=\left(\frac{l}{v_a}-\frac{l}{v_i}\right)$ ...(3·2a)

l, v_a জানা আছে, কাজেই t নির্ণয় করিলে v_i-এর মান নির্ণীত হইবে। দেখা গিয়াছে যে লোহার মধ্যে শব্দের যে বেগ নির্ণয় করা হইল (প্রায় 5000 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে) তাহা $V_s=\sqrt{\frac{Y}{\rho_s}}$ সূত্র দ্বারা নির্ণীত বেগের সমান। লোহার ইয়ং গুণাঙ্ক $=Y=19\times10^{11}$ ডাইন/বর্গ-সেন্টিমিটার এবং ঘনত্ব $=\rho_s=7{\cdot}8$ গ্রাম/সি.সি. এই দুই সংখ্যা $V_s=\sqrt{\frac{Y}{\rho_s}}$ সমীকরণে বসাইলে $V_s=4935$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে হয়। কাজেই পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত বেগ এবং সূত্র দ্বারা নির্ণীত বেগ প্রায় সমান হইতেছে। সুতরাং কঠিনের মধ্যে শব্দের যে অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ যায় তাহা স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ।

3·3. তরলের মধ্যে শব্দের বেগ (Velocity of sound in liquid) : জলের মধ্যে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার জন্য, কোলাডন ও স্ট্রাম (Colladon and Strum) জেনেভার হ্রদের জলের উপর দুইখানা নৌকা কয়েক মাইল দূরে (প্রায় 7 মাইল) ভাসাইয়া পরীক্ষাকার্য চালাইয়াছিলেন (প্রায় 1825 খ্রীষ্টাব্দে)। জলের মধ্যে শব্দ সৃষ্টি করিবার জন্য প্রথম নৌকা হইতে একটি ঘণ্টা জলের তলের কিছু নীচে নিমজ্জিত রাখা হইল এবং ঐ ঘণ্টার শব্দ শুনিবার জন্য দ্বিতীয় নৌকা হইতে একটি ইয়ার-ট্রামপেট (Ear trumpet) জলের তলে এবং ঘণ্টার অনুভূমিক তলে ঝুলাইয়া রাখা হইল।

প্রথম নৌকার আরোহী একটি হাতুড়ির দ্বারা জলের নীচের ঘণ্টাকে যেই আঘাত করিল সঙ্গে সঙ্গে ঐ হাতুড়ি জলের উপরের বারুদে অগ্নি-সংযোগ করিয়া একটি আলোর সৃষ্টি করিল। শব্দের বেগের তুলনায় আলোর বেগ অনেক বেশী, এজন্য দ্বিতীয় নৌকার আরোহী আলোর সৃষ্টির সঙ্গে সঙ্গেই উহা দেখিতে পাইবে এবং তাহার কিছু সময় পর (ধরা যাক্ t সেকেণ্ড) ঘণ্টার শব্দ জলের মধ্য দিয়া ইয়ার-ট্রামপেটে পৌঁছিবে। প্রথমে আলো দেখা এবং পরে শব্দ শুনার মধ্যের সময়ান্তর $(=t)$ একটি নির্ভুল স্টপ-ওয়াচ্‌ দ্বারা নির্ণয় করিয়া দুই নৌকার মধ্যস্থ দূরত্বকে $(=s)$, t দ্বারা ভাগ করিলে জলের মধ্যে শব্দের বেগ প্রথম আরোহী হইতে দ্বিতীয় আরোহীর দিকে নির্ণীত হইবে। বিপরীত পর্যবেক্ষণ পদ্ধতি অবলম্বন করিয়া (অর্থাৎ

দ্বিতীয় নৌকার আরোহী শব্দ এবং আলো সৃষ্টি করিবে এবং প্রথম নৌকার আরোহী উহাদের পৌঁছানর মধ্যের সময়ান্তর দেখিয়া লইবে) জলের মধ্যে শব্দের বেগ পুনরায় নির্ণয় করিয়া উহাদের গড় লইলে জলের মধ্যে শব্দের প্রকৃত বেগ পাওয়া যাইবে। এইভাবে নির্ণীত বেগের মান প্রায় 1437 মিটার প্রতি সেকেণ্ড। কিন্তু জলের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক $E=2{\cdot}1\times10^{10}$ ডাইন / বর্গ-সেন্টিমিটার (প্রায়) এবং এবং ঘনত্ব $\rho_l=1$ ধরিয়া লইলে আমরা $V_l=\sqrt{\frac{E}{\rho_l}}$ সমীকরণ হইতে পাই $V_l=\sqrt{\frac{2\times10^{10}}{1}}$; অথবা, $V_l=1450$ মিটার প্রতি সেকেণ্ড। কাজেই পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত বেগ এবং সূত্র দ্বারা স্থিরীকৃত বেগ প্রায় সমান হইতেছে। ইহা দ্বারা বোঝা গেল যে তরলের মধ্যে যে অনুদৈর্ঘ্য শব্দ-তরঙ্গ যায় তাহাও স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ (Elastic wave)।

3-4. বায়ুর মধ্যে (গ্যাসীয় পদার্থে) শব্দের বেগ [Velocity of sound in air (a gaseous medium)] ঃ উন্মুক্ত বায়ুতে শব্দের বেগ নির্ণয় করিবার জন্য অ্যারাগো (Arago) প্রভৃতি বৈজ্ঞানিকগণ দূরবর্তী দুইটি পাহাড়ের উপর দুইজন পর্যবেক্ষক A ও B নিযুক্ত করিলেন, যাহাদের প্রত্যেকের কাছে একটি বন্দুক ও একটি স্টপ-ওয়াচ্ ছিল। ঐ দুই পর্যবেক্ষকের যে কেউ বন্দুক ছুঁড়িলে অপরজন প্রথমে আলো দেখার এবং পরে শব্দ শুনার মধ্যের সময়ান্তর t ঘড়ি দেখিয়া নির্ণয় করিলে দুই পাহাড়ের মধ্যস্থ বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ হইবে $v=\frac{s}{t}$ [s=দুই-পাহাড়ের মধ্যের ন্যূনতম দূরত্ব]। এইভাবে শব্দের বেগ নির্ণয় করিলে নির্ণীত ফলে কতকগুলি ত্রুটি থাকে যাহার সংশোধন করা প্রয়োজন।

(*a*) **বায়ুপ্রবাহের প্রভাব ঃ** মনে কর বায়ু, প্রথম পর্যবেক্ষক A হইতে দ্বিতীয় পর্যবেক্ষক B-এর দিকে w বেগে প্রবাহিত হইতেছে। প্রথমে, পর্যবেক্ষক A বন্দুক ছুঁড়িল এবং পর্যবেক্ষক B ঐ বন্দুক ছোড়ার আলো দেখার ও শব্দ শুনার মধ্যের সময়ান্তর t_1 নির্ণয় করিল। স্থির বায়ুতে শব্দের বেগ v হইলে, $v+w=\frac{s}{t_1}$। দ্বিতীয়বারে, দ্বিতীয় পর্যবেক্ষক B বন্দুক ছুঁড়িল এবং প্রথম পর্যবেক্ষক A ঐ বন্দুক ছোড়ার আলো দেখার ও শব্দ শুনার মধ্যের সময়ান্তর t_2 নির্ণয় করিল। এবারে $v-w=\frac{s}{t_2}$। কাজেই স্থির বাতাসে শব্দের বেগ হইবে

$$v=\frac{s}{2}\left(\frac{1}{t_1}+\frac{1}{t_2}\right) \quad \cdots \quad (3\text{-}4a)$$

এইভাবে, বায়ু-প্রবাহের প্রভাব হইতে শব্দের নির্ণীত বেগকে মুক্ত রাখা হয়।

(b) **ব্যক্তিগত ত্রুটি ঃ** আলো দেখামাত্র ঘড়ি চালানো এবং শব্দ শুনামাত্র ঘড়ি বন্ধ করা কোন লোকের পক্ষেই ত্রুটিহীন ভাবে করা সম্ভব নয়। আবার এই ত্রুটি বিভিন্ন লোকের পক্ষে বিভিন্ন হয়। এজন্য আলো ও শব্দ পৌঁছানর সময়ের ব্যবধান একটি স্বয়ংক্রিয় বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে লিপিবদ্ধ করা হয়।

(c) **বায়ুর উষ্ণতা ও আর্দ্রতার জন্য ত্রুটি ঃ** A ও B স্থানের মধ্যবর্তী অনেকগুলি স্থানের বায়ুর উষ্ণতা ও আর্দ্রতা নির্ণয় করিয়া যথাক্রমে উহাদের গড় লওয়া হয়। এই গড় উষ্ণতায় এবং আর্দ্রতায় শব্দের বেগ নির্ণীত হইল। এই গড় উষ্ণতা, আর্দ্রতা এবং নির্ণীত বেগ একটি সূত্রে বসাইলে শব্দের বেগ শুষ্ক বাতাসে এবং 0°C উষ্ণতায় নির্ণয় করা যাইবে।

3-5. নিউটনের সূত্র এবং লাপ্লাসের সংশোধন (Newton's formula and Laplace's correction) ঃ (i) **নিউটনের সূত্র ঃ** কোন গ্যাসীয় মাধ্যমে অনুদৈর্ঘ্য শব্দ-তরঙ্গের বেগ (V) নিউটনের সূত্র, $V=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এখানে E=মাধ্যমের আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক এবং ρ-মাধ্যমের ঘনত্ব। কাজেই গ্যাসীয় মাধ্যমে শব্দ-তরঙ্গ একটি স্থিতিস্থাপক তরঙ্গ, যাহাতে পর্যায়ক্রমে ঘনীভূত ও তনূভূত স্তরের সৃষ্টি হয়। নিউটন অনুমান করিয়াছিলেন যে, ঘনীভূত ও তনূভূত স্তরে যথাক্রমে গ্যাসের যে সংকোচন ও প্রসারণ হয় তাহা এত কম এবং এত ধীরে হয় যে ঐ স্তরগুলির উষ্ণতার কোনরূপ পরিবর্তন হয় না। অর্থাৎ গ্যাসের এই সংকোচন ও প্রসারণ সমোষ্ণতায় (isothermally) হইয়া থাকে। এজন্য ঐ সব গ্যাসীয় স্তরে বয়েলের সূত্র প্রযোজ্য।

মনে কর কোন ঘনীভূত স্তরে গ্যাসের চাপ P হইতে বৃদ্ধি পাইয়া $(P+p)$ হইল এবং আয়তন V হইতে কমিয়া $(V-v)$ হইল। কাজেই নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে, বয়েলের সূত্র অনুযায়ী, $PV=(P+p)(V-v)$। অথবা, $PV=PV-Pv+pV$ [pv খুব ছোট হওয়ায় উহাকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল] অথবা, $Pv=pV$; অথবা, $P=\frac{pV}{v}=\frac{p}{v/V}=\frac{\text{আয়তন পীড়ন}}{\text{আয়তন বিকৃতি}}$ = আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক = E। কাজেই নিউটনের সূত্রের পরিবর্তিত রূপ হইবে, $V=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$। বায়ুর স্বাভাবিক চাপ $(P)=76$ সে.মি. পারদস্তম্ভের চাপ ; অথবা, $P=76\times 13{\cdot}6\times 980$ ডাইন। স্বাভাবিক চাপে ও 0°C উষ্ণতায় বায়ুর ঘনত্ব $=\rho=\cdot001293$ গ্রাম প্রতি সি. সি.-তে। P ও ρ-এর এই মান $V=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$ সমীকরণে বসাইলে $V=280$

মিটার প্রতি সেকেণ্ডে পাওয়া যায় যাহা পরীক্ষালব্ধ ফল অপেক্ষা কম। কাজেই বোঝা যায় যে নিউটন যে সব অনুমানকে ভিত্তি করিয়া $V=\sqrt{\frac{P}{\rho}}$ নির্ণয় করিয়াছিলেন তাহা ত্রুটিহীন নয়।

(*ii*) **লাপ্লাস দ্বারা নিউটনের সূত্রের সংশোধন** :—নিউটনের সূত্র অনুযায়ী বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ হইতেছে 280 মিটার/সেকেণ্ড, অথচ পরীক্ষা দ্বারা নির্ণীত ঐ বেগ প্রায় 332 মিটার/সেকেণ্ড। এইরূপ পার্থক্য হওয়ার জন্য লাপ্লাসের ধারণা হইল যে, নিউটন যে সব অনুমানকে ভিত্তি করিয়া শব্দ-তরঙ্গের বেগের সূত্র $\left(V=\sqrt{\frac{P}{\rho}}\right)$ নির্ণয় করিয়াছিলেন সেগুলি ত্রুটিহীন নয়। এই কারণে লাপ্লাস অনুমান করিলেন যে বাতাসে শব্দ-তরঙ্গের বিস্তারের সময় যে ঘনীভবন ও তনূভবন হয় তাহা খুব **দ্রুত** হয়, ধীরে হয় না (যাহা নিউটনের অনুমান)। এজন্য ঘনীভবন এবং তনূভবন সমোষ্ণতায় থাকে না। অর্থাৎ ঘনীভূত স্তরের উষ্ণতা বৃদ্ধি পায় এবং তনূভূত স্তরের উষ্ণতা হ্রাস পায়। এই কারণে এই পরিবর্তনকে সমতাপে (adiabatic) পরিবর্তন বলা যাইতে পারে। এইরূপ পরিবর্তনে গ্যাসের অবস্থা সমীকরণ $PV=$ ধ্রুবক না হইয়া $PV^{\gamma}=$ ধ্রুবক হইবে।

এখানে $\gamma=\dfrac{\text{স্থির চাপে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ } (C_p)}{\text{স্থির আয়তনে গ্যাসের আপেক্ষিক তাপ } (C_v)}$। যদি ঘনীভূত স্তরের চাপ P হইতে বৃদ্ধি পাইয়া $(P+p)$ হয় এবং আয়তন V হইতে কমিয়া $(V-v)$ হয় তাহা হইলে নির্দিষ্ট পরিমাণ গ্যাসের ক্ষেত্রে, $PV^{\gamma}=(P+p)(V-v)^{\gamma}$;

অথবা, $PV^{\gamma}=(P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{v}{V}\right)^{\gamma}=(P+p)V^{\gamma}\left(1-\gamma\frac{v}{V}\right)$

[$\frac{v}{V}$ খুব ক্ষুদ্র সংখ্যা হওয়ায় উহার উচ্চশক্তির সংখ্যাকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল]

অথবা, $PV^{\gamma}=PV^{\gamma}-PV^{\gamma}.\gamma\frac{v}{V}+pV^{\gamma}$

[pv ছোট হওয়ায় উহাকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল]

অথবা, $P\gamma V^{\gamma-1}\cdot v=pV^{\gamma}$; অথবা, $P\gamma=\frac{pV^{\gamma}}{vV^{\gamma-1}}=\frac{pV}{v}=\frac{p}{v/V}=E$।

$p=$ আয়তন পীড়ন এবং $(v/V)=$ আয়তন-বিকৃতি; কাজেই উহাদের অনুপাত হইবে আয়তন-বিকৃতি গুণাঙ্ক $=E$। কাজেই $V=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$ সমীকরণের পরিবর্তিত রূপ হইবে $V=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}=\sqrt{\frac{P}{\rho}}\times\sqrt{\gamma}=280\sqrt{\gamma}$। বাতাসের ক্ষেত্রে, γ-এর

পরীক্ষালব্ধ মান $=1.41$; কাজেই $V=280\sqrt{1.41}=332.5$ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। ইহা পরীক্ষালব্ধ ফলের সহিত মিলিয়া যায়। কাজেই অঙ্ক কষিবার সময় লাপ্‌লাসের সূত্র $V=\sqrt{\frac{P\times\gamma}{\rho}}$ ব্যবহার করিতে হইবে।

3-6. গ্যাসীয় মাধ্যমে, শব্দের বেগ যে যে বিষয়ের দ্বারা প্রভাবিত হয় (Factors influencing the velocity of sound in a gas) ঃ

(*a*) **চাপের প্রভাব** ঃ—আদর্শ গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ (V), লাপ্‌লাসের সূত্র $V=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}$ দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। সুতরাং $V=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}=\sqrt{\frac{P\gamma v}{\rho v}}$

[এখানে $v=$এক গ্রাম-অণু গ্যাসের আয়তন]

অথবা, $V=\sqrt{\frac{RT\gamma}{M}}$ [$M=v\rho=$গ্যাসের আণবিক-ওজন এবং আদর্শ-গ্যাসের ক্ষেত্রে $Pv=RT$].

যদি গ্যাসের উষ্ণতা $T°A$, স্থির থাকে তাহা হইলে গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ (V) উহার চাপের উপর নির্ভর করিবে না, কারণ R, γ, এবং M নির্দিষ্ট গ্যাসের ক্ষেত্রে ধ্রুবক। কিন্তু গ্যাস যদি আদর্শ গ্যাস না হয় তাহা হইলে গ্যাসের উষ্ণতা স্থির থাকিলেও Pv ধ্রুবক থাকে না, সেক্ষেত্রে চাপের পরিবর্তনে, গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগের পরিবর্তন হইবে।

(*b*) **উষ্ণতার প্রভাব** ঃ—লাপ্‌লাসের সূত্র অনুযায়ী, আদর্শ গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ $V=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}=\sqrt{\frac{Pv\gamma}{v\rho}}=\sqrt{\frac{RT\gamma}{M}}$ ... (3-6*a*)

[এখানে $v=$এক গ্রাম-অণু গ্যাসের আয়তন; $M=$গ্যাসের আণবিক ওজন এবং $R=$গ্যাস-ধ্রুবক। কাজেই (3-6*a*) সমীকরণ হইতে বলা যায় যে, কোন নির্দিষ্ট গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ, গ্যাসের চরম উষ্ণতার ($T°A$) বর্গমূলের সমানুপাতিক অর্থাৎ, $V\propto\sqrt{T}$; অথবা, $\frac{V_t}{V_0}=\sqrt{\frac{T_t}{T_0}}$ ... (3-6*b*)

V_t ও V_0-এর মধ্যে মোটামুটি সম্বন্ধ.—$\frac{V_t}{V_0}=\sqrt{\frac{273+t}{273}}$

[$t=$উষ্ণতা $°C$-এ]

অথবা, $\frac{V_t}{V_0}=\left(1+\frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}=1+\frac{1}{2}\times\frac{t}{273}$ [যখন t খুব বেশী নয়] ···(3-6*c*)

(c) **আর্দ্রতার প্রভাব ঃ**—জলীয় বাষ্পের আপেক্ষিক ঘনত্ব 9 এবং বাতাসের আপেক্ষিক ঘনত্ব প্রায় 14·4। কাজেই বাতাসের মধ্যে যত বেশী জলীয় বাষ্প থাকিবে, বাতাসের ঘনত্ব তত কমিয়া যাইবে। কিন্তু লাপ্লাসের সূত্র, $V=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}$ হইতে জানা যায় যে বাতাসের ঘনত্ব ρ কমিয়া গেলে আর্দ্র বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ বেশী হইবে।

(d) **গ্যাসের ঘনত্বের প্রভাব ঃ**—দুইটি বিভিন্ন গ্যাসের উষ্ণতা, চাপ স্থির রাখিলেও, যে গ্যাসের ঘনত্ব বেশী হইবে তাহার মধ্যে শব্দের বেগ কম হইবে। লাপ্লাসের সূত্র অনুযায়ী, $\frac{V_1}{V_2}=\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho_1}}\div\sqrt{\frac{P\gamma}{\rho_2}}=\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$ ...(3-6d)

অতএব, কোন গ্যাসের উষ্ণতা ও চাপ স্থির রাখিলে, উহার মধ্যে শব্দের বেগ (V), গ্যাসের ঘনত্বের (ρ) বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতে পরিবর্তিত হইবে।

উদাহরণ.—মনে কর হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাস লওয়া হইল যাহাদের আপেক্ষিক ঘনত্ব যথাক্রমে 1 ও 16। কাজেই $\frac{V_h}{V_o}=\sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_h}}=\sqrt{\frac{16}{1}}=4$;

সুতরাং $V_h=4V_o$; অর্থাৎ শব্দ, অক্সিজেন গ্যাসে যে বেগে যাইবে তাহার 4 গুণ বেশী বেগে হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে যাইবে।

3-7. শব্দের উৎস (Sources of Sound) ঃ পূর্বেই বলা হইয়াছে যে, বাস্তব বস্তুর (কঠিন, তরল ও গ্যাসীয় পদার্থ) কম্পনে শব্দ উৎপন্ন হয় এবং সেই শব্দ শ্রুতিগোচর হয় যখন শব্দসৃষ্টি-কারী বাস্তব বস্তুর কম্পন-সংখ্যা প্রতি সেকেণ্ডে প্রায় 27 এবং 20,000-এর মধ্যে থাকে [1-9 পরিচ্ছেদ দেখ]। বস্তুর কম্পনে শ্রুতিগোচর শব্দ উৎপন্ন হইলেই যে উহা শ্রুতিমধুর বা সুর সমৃদ্ধ (musical) হইবে এমন কোন কথা নাই। এজন্য যাবতীয় শব্দ উৎপন্নকারী যন্ত্রকে দুইভাগে ভাগ করা হয়। (a) যে যন্ত্র শ্রুতিমধুর বা সুরসমৃদ্ধ শব্দ উৎপন্ন করে তাহাকে **সুরসমৃদ্ধ শব্দ-উৎপন্নকারী যন্ত্র** (musical instruments) বলে। (b) আর যে সব যন্ত্র হইতে সুরসমৃদ্ধ শব্দ উৎপন্ন হয় না তাহাদিগকে **সুরবর্জিত শব্দ-উৎপন্নকারী যন্ত্র** (unmusical instruments) বলে।

(a) সুরসমৃদ্ধ শব্দ-উৎপন্নকারী যন্ত্র বিভিন্ন প্রকারের হইতে পারে। (i) কয়েক প্রকার বাদ্য-যন্ত্র আছে যেখানে তারের তির্যক কম্পনে সুরসমৃদ্ধ শব্দ উৎপন্ন হয়, যেমন—সেতার, এস্রাজ, গীটার, বীণা, বেহালা, পিয়ানো প্রভৃতি। (ii) আবার কয়েক প্রকার বাদ্য-যন্ত্র আছে যেখানে বায়ুস্তম্ভের কম্পনে সুরসমৃদ্ধ শব্দের সৃষ্টি হয়, যেমন—বাঁশী, ফ্লুট (flute), পিকোলো (piccolo), ক্ল্যারিয়নেট (clarionet),

হার্মোনিয়াম, অর্গ্যান নল প্রভৃতি। শেষের তিনটি বাদ্যযন্ত্রে, একটি ধাতব পাতের কম্পন দ্বারা ঐ যন্ত্রের বায়ু-স্তম্ভে কম্পন সৃষ্টি করা হয়। (*iii*) আবার কোন কোন যন্ত্রে ঝিল্লীর (membrane) কম্পন দ্বারাও স্বরসমৃদ্ধ শব্দের সৃষ্টি করা হয়, যেমন—তবলা, খোল প্রভৃতি।

(*b*) স্বরসমৃদ্ধ শব্দ-উৎপন্নকারী বাদ্যযন্ত্র ছাড়া যাবতীয় যন্ত্রকেই স্বরবর্জিত শব্দ-উৎপন্নকারী যন্ত্র বলা যাইতে পারে। কাঁসর, ঘণ্টা, টিন প্রভৃতি বাজাইয়া যে শব্দ উৎপন্ন করা হয় তাহারা স্বরবর্জিত শব্দ (noise) হইবে।

3·8. স্বরসমৃদ্ধ ও স্বরবর্জিত শব্দ—স্বরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য :

(*a*) **স্বরসমৃদ্ধ ও স্বরবর্জিত শব্দ** (Musical sound and noise) : শব্দকে সাধারণতঃ দুইভাগে ভাগ করা যায়, যথা—(*i*) স্বরসমৃদ্ধ শব্দ এবং (*ii*) স্বরবর্জিত শব্দ। প্রকৃতপক্ষে এই দুই প্রকার শব্দের মধ্যে পার্থক্যের সীমারেখা টানা খুবই শক্ত, যদিও চরম ক্ষেত্রে এই পার্থক্য বুঝিতে কোন অসুবিধা হয় না। যেমন, একটি পিয়ানো বাজানোর শব্দ (স্বরসমৃদ্ধ শব্দ) এবং কাকের কা কা শব্দের (স্বরবর্জিত শব্দ) মধ্যে পার্থক্য বুঝিতে কোন অসুবিধা হয় না। সাধারণতঃ অনুভূতির দিক হইতে বিচার করিলে বলা যায় যে, যে শব্দ কোমল (smooth), পর্যায়ক্রমে সংঘটিত হয় এবং শ্রুতিমধুর তাহাই স্বরসমৃদ্ধ শব্দ (musical sound) হইবে। আর যে সব শব্দের মধ্যে স্বরসমৃদ্ধ শব্দের গুণগুলি থাকিবে না তাহাদিগকে স্বরবর্জিত শব্দ (noise or unmusical sound) বলে। আবার স্বরবর্জিত শব্দ মাত্রই শ্রুতিকটু হয় না যেমন, কোন ঘণ্টাকে পর্যায়ক্রমে হাতুড়ি দ্বারা আঘাত করিলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাহাতে উভয় প্রকার শব্দই (স্বরসমৃদ্ধ ও স্বরবর্জিত শব্দ) বর্তমান থাকে। আবার হার্মোনিয়ামের একটি চাবি টিপিলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাহা স্বরসমৃদ্ধ শব্দ কিন্তু অনেকগুলি চাবি একসঙ্গে টিপিলে, অনেকগুলি স্বরসমৃদ্ধ শব্দের মিশ্রণে যে শব্দ উৎপন্ন হইবে তাহা স্বরবর্জিত শব্দ হইবে। কিন্তু অনেকগুলি স্বরবর্জিত শব্দের মিশ্রণে কখনই স্বরসমৃদ্ধ শব্দ উৎপন্ন হয় না।

(*b*) **স্বরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য** (Characteristics of musical sound) : স্বরসমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য তিনটি, যথা—(1) তীক্ষ্ণতা, (2) প্রাবল্য ও (3) গুণ বা জাতি।

(1) **শব্দের তীক্ষ্ণতা** (Pitch of a sound) :—শব্দের তীক্ষ্ণতা উহার কম্পাঙ্ক দ্বারা স্থিরীকৃত হয়। মোটা শব্দের কম্পাঙ্ক (n) কম কাজেই উহার তীক্ষ্ণতাও কম, আবার সরু শব্দের কম্পাঙ্ক (n) বেশী কাজেই উহার তীক্ষ্ণতাও বেশী। একটি মোটা ও লম্বা নলে ফুঁ দিলে মোটা শব্দ হয়, এজন্য ইহার তীক্ষ্ণতা কম। কিন্তু

চাবির সরু নলে ফুঁ দিলে খুব সরু শব্দ হয়, এজন্য ইহার তীক্ষ্ণতা বেশী। যদি বলা হয় যে শব্দের তীক্ষ্ণতা 256 তাহা হইলে বুঝিতে হইবে যে ঐ শব্দ উৎপন্নকারী বস্তুর প্রতি সেকেণ্ডে 256 বার স্পন্দন হইতেছে।

(2) **শব্দের প্রাবল্য** (Intensity of Sound) :—যখন আমরা বলি যে শব্দ খুব জোরে হইতেছে কিংবা আস্তে হইতেছে তখন ঐ সব উক্তি ব্যক্তি বিশেষের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। কারণ একই শব্দ কোন লোকের কাছে বেশী জোরের বলিয়া মনে হইবে আবার কোন লোকের কাছে আস্তে হইতেছে বলিয়া মনে হইবে। কাজেই উচ্চশব্দ (loudness) কথাটা লোক-নির্ভর। কিন্তু শব্দের প্রাবল্য বা তীব্রতা কোন ব্যক্তি-নির্ভর বিষয় নয়, উহার পরিমাণ মাধ্যমের কোন বিন্দুতে সর্বদাই স্থির থাকে (শব্দের নির্দিষ্ট উৎসের জন্য)। মাধ্যমের কোন বিন্দুতে শব্দের তীব্রতা বলিতে আমরা বুঝি, যে ঐ বিন্দুর চারিদিকে একক ক্ষেত্রফলযুক্ত একটি সমতল, শব্দের বিস্তারের অভিলম্বের দিকে অঙ্কন করিলে উহার মধ্য দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ শব্দশক্তি অতিক্রম করিবে তাহাই ঐ বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্যের পরিমাপ হইবে। দেখান যাইতে পারে যে, কোন শব্দের উৎসের কম্পাঙ্ক n ও কম্পন বিস্তার a হইলে, উৎস হইতে r দূরে শব্দের প্রাবল্য হইবে $I=\dfrac{ka^2n^2\rho v}{r^2}$ ···(3-8a)

এখানে v=মাধ্যমের মধ্যে শব্দের বেগ এবং ρ=মাধ্যমের ঘনত্ব।

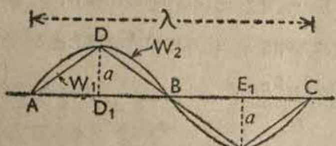
(3-8a) সমীকরণ হইতে জানা যায় যে,—(i) শব্দের তীব্রতা উৎসের কম্পাঙ্ক (n) ও কম্পন বিস্তার (a) বেশী হইলে বেশী হইবে ; (ii) শব্দের উৎস হইতে যত দূরে (r) যাওয়া যাইবে শব্দের প্রাবল্য তত কম হইবে , (iii) মাধ্যমের ঘনত্ব (ρ) বেশী হইলে এবং উহার মধ্যে শব্দের বেগ (v) বেশী হইলে একটি নির্দিষ্ট দূরে শব্দের প্রাবল্য বেশী হইবে। যেমন, লোহার ঘনত্ব বেশী এবং ইহার মধ্যে শব্দের বেগও বেশী। এজন্য গাড়ী আসার শব্দ রেলের লাইনে কান রাখিলে স্পষ্ট শুনা যায় কিন্তু বাতাসে কান রাখিলে শুনা যায় না। (iv) আবার শব্দ-তরঙ্গ যখন নলের মধ্য দিয়া যায় (যেমন কথা বলিবার নলে) তখন শব্দশক্তি ছড়াইয়া পড়িতে না পারায় উহার তীব্রতা অনেক দূরেও বেশী থাকিবে। (v) কোন অনুনাদী বস্তুর কাছে শব্দ সৃষ্টি করিলে বস্তুর অনুনাদের জন্য শব্দের তীব্রতা বেশী হয়। এজন্য তারের বাদ্য-যন্ত্রে তারগুলিকে ফাঁপা বাক্সের উপর আটকাইয়া রাখা হয়।

(3) **শব্দের গুণ বা জাতি** (Quality of Sound) :—যে বৈশিষ্ট্যের দ্বারা বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্র হইতে একই তীক্ষ্ণতার ও প্রাবল্যের শব্দ উৎপন্ন হইলেও উহাদের মধ্যে একটা পার্থক্য থাকিয়া যায়, সেই বৈশিষ্ট্যকে শব্দের গুণ বা জাতি বলে।

স্বর সমৃদ্ধ শব্দ দুই শ্রেণীর হইতে পারে, যাহার একটিকে (*i*) **সুর** (tone) বলে এবং অপরটিকে (*ii*) **স্বর** (note) বলে। (*i*) এক কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট বিশুদ্ধ বা মৌলিক শব্দকে **সুর** বলে। শব্দ সৃষ্টিকারী উৎসের সরল দোলগতির (simple harmonic motion) ফলে যে শব্দ উৎপন্ন হয় তাহাকে সুর বলে। সুরশলাকাকে আস্তে আঘাত করিলে উহার বাহুর কণাগুলির কম্পন সরল দোলগতিযুক্ত হইবে এবং উহা হইতে উৎপন্ন শব্দ সুর হইবে। সুর-শলাকাই একমাত্র যন্ত্র যে সুর উৎপন্ন করিতে পারে।

(*ii*) বিভিন্ন কম্পাঙ্কের অনেকগুলি বিশুদ্ধ শব্দের (অর্থাৎ সুরের) মিশ্রণে যে জটিল শব্দ উৎপন্ন হয় তাহাকে **স্বর** বলে। শব্দ সৃষ্টিকারী উৎসের পর্যাবৃত্ত কম্পনের (periodic vibration) ফলেই সুরযুক্ত স্বরের সৃষ্টি হয়। সুরশলাকা ছাড়া প্রায় সকল বাদ্যযন্ত্রের কম্পনেই স্বর উৎপন্ন হয়।

কোন স্বরকে বিশ্লেষণ করিলে দেখা যায় যে উহার মধ্যে অনেকগুলি বিভিন্ন কম্পাঙ্কের সুর মিশ্রিত আছে। কোন স্বরে মিশ্রিত সুরগুলির মধ্যে যাহার কম্পাঙ্ক লঘিষ্ঠ এবং প্রাবল্য গরিষ্ঠ তাহাকে **মূলসুর** (fundamental tone) বলে। স্বরের মধ্যস্থ মূলসুর ছাড়া, অন্যান্য যে সব ক্রমোচ্চ কম্পাঙ্কের কিন্তু ক্রম-নিম্ন প্রাবল্যের সুরগুলি স্বরের মধ্যে থাকে তাহাদিগকে **উপসুর** (overtone) বলে। যদি উপসুরগুলির কম্পাঙ্ক মূলসুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হয় তাহা হইলে সেই উপসুরগুলিকে **সমমেল** (harmonics) বলে। কোন শব্দের উপসুরগুলি যদি সমমেল হয় তাহা হইলে সেই শব্দ সুরসমৃদ্ধ হইবে। টান করিয়া বাঁধা তার হইতে এবং অর্গ্যান নল হইতে উৎপাদিত শব্দের উপসুরগুলি সমমেল, এজন্য উহাদের দ্বারা উৎপাদিত শব্দ শ্রুতিমধুর হয়।

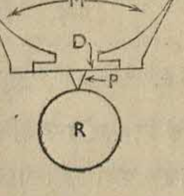


চিত্র 3.1 : শব্দের গুণ বা জাতি

বিভিন্ন যন্ত্র হইতে উৎপন্ন শব্দের গুণ বিভিন্ন হয়, কারণ উহাদের মূলসুরগুলির কম্পাঙ্ক ও প্রাবল্য এক হইলেও উহাদের (*i*) উপসুরগুলির সংখ্যা (*ii*) উপসুরগুলির কম্পাঙ্ক ও প্রাবল্যের সহিত যথাক্রমে মূলসুরের কম্পাঙ্কের ও প্রাবল্যের অনুপাত বিভিন্ন যন্ত্রের ক্ষেত্রে বিভিন্ন হয়। এই কারণেই দুইটি বিভিন্ন যন্ত্র হইতে উৎপাদিত শব্দের পার্থক্য ধরা যায়। দুইটি শব্দের গুণ বিভিন্ন হইলে উহাদের দ্বারা সৃষ্ট তরঙ্গের আকারও (form) বিভিন্ন হইবে। 3.1 নং চিত্রে দুইটি শব্দ-তরঙ্গ দেখান হইয়াছে যাহাদের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য (AC) এবং তরঙ্গ বিস্তার $a(=DD_1$ কিংবা $EE_1)$ সমান অথচ উহাদের আকার বিভিন্ন। অতএব, ঐ দুই শব্দ-তরঙ্গ যে দুই যন্ত্র হইতে উৎপন্ন হইয়াছে তাহাদের শব্দের গুণ বিভিন্ন হইবে।

3-9. শব্দের লিপিবদ্ধকরণ ও পুনরুৎপাদন (Recording and reproduction of Sound) ঃ শব্দ-তরঙ্গের আকারকে স্থায়ীভাবে ধরিয়া রাখাকেই শব্দের লিপিবদ্ধকরণ বলে। ফনোগ্রাফে (Phonograph) কম-বেশী গভীরতার গর্ত অঙ্কন দ্বারা এবং গ্রামোফোনে (Gramophone) কম-বেশী বিস্তার-রেখা অঙ্কন দ্বারা শব্দের লিপিবদ্ধকরণ কার্য সম্পন্ন করা হয়।

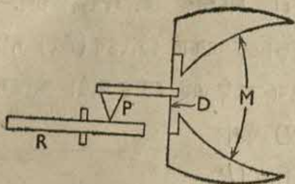
(*a*) **ফনোগ্রাফ** (Phonograph) ঃ—(*i*) **শব্দের লিপিবদ্ধকরণ.**—যে শব্দ লিপিবদ্ধ করিতে হইবে তাহাকে শঙ্কু-আকৃতির একটি চোঙের (M) সামনে (যাহাকে মাউথপিস্ বলে) উৎপন্ন করা হয়। শব্দ-তরঙ্গ এই চোঙ দ্বারা অভিসারী হইয়া চোঙের প্রান্তস্থিত একটি পাতলা পর্দার (D) উপর আপতিত হয়। এই পর্দার সহিত একটি ধারালো পিন (P) যুক্ত থাকে। পর্দার উপর আপতিত শব্দ-তরঙ্গের প্রকৃতি অনুযায়ী উহার যেরূপ কম্পন হইতে থাকিবে, সেই কম্পনের জন্য পর্দার সংলগ্ন পিনও উল্লম্ব রেখায় উঠানামা করিবে। এই অনুদৈর্ঘ্য কম্পনশীল পিন, একটি লম্বা ড্রামের (R) উপরিস্থিত মোমের প্রলেপনের উপর কম-বেশী গভীরতার গর্ত অঙ্কিত করিতে থাকিবে। ধারালো পিনকে ড্রামের এক প্রান্তে স্থাপন করিয়া ঐ ড্রামে স্ক্রু-গতি প্রয়োগ করা হয় (অর্থাৎ ড্রামকে অনুভূমিক অক্ষরেখায় সমগতিতে ঘুরাইতে থাকিলে ঐ রেখা বরাবর উহার রৈখিক গতিও হইবে)। ড্রামের এই ঘূর্ণন চলিতে থাকে যতক্ষণ না পিনের নীচে, ড্রামের প্রথম প্রান্ত সরিয়া গিয়া উহার শেষ প্রান্ত উপস্থিত হয়। ড্রামের এই ঘূর্ণনকালে, মাউথপিসের সাম্নে উৎপাদিত যাবতীয় শব্দ-তরঙ্গ লিপিবদ্ধ হইয়া যায়।



চিত্র 3'2 ঃ ফনোগ্রাফের শব্দগ্রহণ

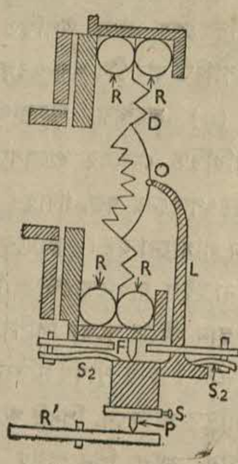
(*ii*) **শব্দের পুনরুৎপাদন** (Reproduction of Sound).—ড্রামের উপরিস্থিত মোমের প্রলেপনের উপর যে শব্দতরঙ্গ লিপিবদ্ধ করা হইল তাহার পুনরুৎপাদনের জন্য, পর্দার (D) সহিত ধারালো পিন না লাগাইয়া একটা ভোঁতা পিন লাগানো হয়। ড্রামকে পূর্বের বিপরীত দিকে ঘুরাইয়া উহাকে উহার পূর্বস্থানে আনা হইল যাহাতে ভোঁতা পিনটি লিপিবদ্ধ শব্দের প্রারম্ভিক স্থানে (অর্থাৎ ড্রামের যে স্থান হইতে শব্দের লিপিবদ্ধকরণ আরম্ভ হইয়াছিল) বসিতে পারে। এইবার ড্রামকে তাহার পূর্বের গতিতে (অর্থাৎ শব্দের লিপিবদ্ধ করিবার সময়ের গতিতে) ঘুরাইতে থাকিলে, পিনটি গর্তের গভীরতা অনুযায়ী উহার মধ্যে কম-বেশী দূর যাইবে, যাহার ফলে পিন-সংলগ্ন পর্দার কম্পন হইবে। পর্দার এই কম্পন আপতিত শব্দের কম্পনের অনুরূপ। কাজেই পর্দার এই কম্পনে পূর্বের শব্দ পুনরুৎপাদিত হইবে।

(b) **গ্রামোফোন** (Gramophone) :—(i) **শব্দের লিপিবদ্ধকরণ.**— এখানে পর্দাসংলগ্ন (D) পিনের (P) কম্পন উল্লম্ব রেখায় না হইয়া (যাহা ফনোগ্রাফে হইয়া থাকে) পাশাপাশি হয় [3.3 নং চিত্র]। ইহার ফলে কম-বেশী বিস্তারের তরঙ্গ রেখা, একটি ঘূর্ণমান অনুভূমিক শক্ত মোমের চাক্তির (R) পেঁচাল গর্তের মধ্যে, অঙ্কিত করা হয়। আধুনিক পদ্ধতিতে অনেকগুলি বৈদ্যুতিক যন্ত্রের সাহায্যে, শব্দ-তরঙ্গ এইরূপ শক্ত মোমের চাক্তির (R) পেঁচাল গর্তের মধ্যে অঙ্কিত করা হয়। মোমের চাক্তিতে যে শব্দ-তরঙ্গ অঙ্কিত হইল তাহাকে **শব্দের রেকর্ড** বলে। এই রেকর্ড হইতে বহু সংখ্যক রেকর্ড প্রস্তুত করিবার জন্য ইলেকট্রো-টাইপিং পদ্ধতি দ্বারা ঐ রেকর্ডের একটি তামার ছাঁচ (mould) প্রস্তুত করা হয়। পাত-গালা (shellac), ত্রিপোলি-চূর্ণ, ছেঁড়া কাপড় প্রভৃতি গলাইয়া একপ্রকার কালো গোল চাক্তি প্রস্তুত করা হয়, যাহা গরম অবস্থায় খুব নরম থাকে। ঐ কালো গোল চাক্তি যখন গরম থাকে তখন তাহার উপর তামার ছাঁচ চাপিয়া ধরিলে, তাহার উপর পেঁচাল গর্তের এবং ঐ গর্তের মধ্যে অঙ্কিত তরঙ্গ রেখার ছাপ ঐ চাক্তির উপর পড়ে, যাহাকে আমরা **গ্রামোফোন রেকর্ড** বলি।



চিত্র 3.3 : গ্রামোফোনে শব্দের লিপিবদ্ধকরণ

(ii) **শব্দের পুনরুৎপাদন.**—রেকর্ড হইতে শব্দ পুনরুৎপাদনের জন্য যে যন্ত্র ব্যবহৃত হয় তাহাকে সাউণ্ড-বক্স বলে (3.4 নং চিত্র)। ইহাতে অ্যালুমিনিয়ামের একটি পাতলা গোল পর্দা (D) আছে যাহার ধার রবারের দুইটি গোল রিং (R, R) দ্বারা আটকানো থাকে। এই পর্দার মধ্যবিন্দুর (O) সহিত একটি লিভারের (L) বড় বাহুর প্রান্ত সংযুক্ত থাকে। লিভারের ছোট বাহুর প্রান্তে, স্ক্রু-এর (S) সাহায্যে একটি পিন (P) লাগানো হয়। লিভার একটি পিনের (F) সরু প্রান্তকে আলম্ব করিয়া নড়িতে পারে এবং উহার সঞ্চালন দুইটি স্প্রিং-এর (S_2 ও S_2) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।



চিত্র 3·4 : গ্রামোফোনের সাউণ্ড বক্স দ্বারা শব্দের পুনরুৎপদান

গ্রামোফোন রেকর্ডকে (R') যখন একটি নির্দিষ্ট বেগে ঘূর্ণমান চাক্তির উপর বসাইয়া, সাউণ্ড-বক্সের পিনের (P) অগ্রভাগ রেকর্ডের ঐ পেঁচাল গর্তের বহিঃপ্রান্তে বসানো হয়

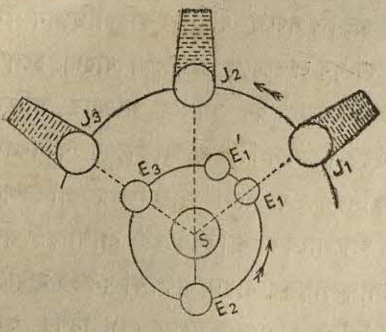
তখন পিনের (P) অগ্রভাগ ঐ পেঁচাল গর্তের মধ্যে অঙ্কিত আঁকাবাঁকা রেখা বরাবর চলিতে থাকে। পিনের অগ্রভাগ এই আঁকাবাঁকা রেখা বরাবর চলার জন্য উহার যে ইতস্ততঃ গতি হয় তাহা লিভারের (L) সাহায্যে পর্দাতে (D) সঞ্চালিত হয়। পর্দা লিভারের বড় বাহুর সহিত সংযুক্ত থাকায় উহার কম্পন বড় বিস্তারে হইবে এবং তাহার জন্য যে শব্দ উৎপন্ন হইবে তাহার প্রাবল্য বেশী হইবে। এই শব্দের প্রকৃতি, রেকর্ডে অঙ্কিত শব্দের অনুরূপ হয়।

3·10. আলোর প্রকৃতি (Nature of Light) ঃ (*i*) **নিউটনের কণিকা-তত্ত্ব ঃ** বহু পূর্বে নিউটন আলোর প্রকৃতি সম্বন্ধে ধারণা করিয়াছিলেন যে ইহা কতকগুলি অতিক্ষুদ্র কণিকার সমষ্টি যাহা খুব দ্রুতবেগে সরলরেখা ধরিয়া চলে। যখন এই কণিকাগুলি আমাদের চোখের উপর পড়ে তখন আমরা আলোর অস্তিত্ব অনুভব করি। বিভিন্ন রঙের আলো বুঝাইতে নিউটন বিভিন্ন আকারের কণিকার কল্পনা করিয়াছিলেন। আলোকের এই কণিকা-তত্ত্ব দ্বারা আলোকের প্রতিফলন এবং প্রতিসরণের ব্যাখ্যা করা গেলেও আলোকের প্রতিসরণের ব্যাখ্যার জন্য নিউটনকে ধরিয়া লইতে হইয়াছিল যে আলোক লঘুতর মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর মাধ্যমে বেশী বেগে চলে। পরে পরীক্ষাগারে যখন বিভিন্ন মাধ্যমে আলোর বেগ নির্ণয় করা হইল তখন দেখা গেল যে আলোর বেগ লঘুতর মাধ্যম অপেক্ষা ঘনতর মাধ্যমে কম। তখন হইতেই নিউটনের কণিকা-তত্ত্ব পরিত্যক্ত হইল।

(*ii*) **হাইগেনসের তরঙ্গ-তত্ত্ব ঃ**—হাইগেনসই প্রথম ধারণা করিলেন (1678 খ্রীষ্টাব্দে) যে আলোক একটি তরঙ্গজনিত ঘটনা, যে তরঙ্গের দৈর্ঘ্য খুব কম এবং বেগ (3×10^{10} সে.মি./সেকেণ্ড) খুব বেশী। বিভিন্ন রঙের আলোর জন্য তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বিভিন্ন হইয়া থাকে [যেমন, লাল আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 7800×10^{-8} সে.মি. এবং বেগুনী রঙের আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 3900×10^{-8} সে.মি.]। তরঙ্গ যাহারই হউক না কেন তাহার বিস্তারের জন্য একটি স্থিতিস্থাপক বাস্তব মাধ্যমের প্রয়োজন। কিন্তু আলোকতরঙ্গ শূন্য স্থানের মধ্য দিয়াও যাইতে পারে। এই সমস্যার সমাধানের জন্য একটি বিশ্বব্যাপী স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের অস্তিত্ব কল্পনা করা হয় যাহার নাম দেওয়া হইয়াছে আলোকবাহী ঈথার (luminiferous ether)। আলোকের বেগ অত্যন্ত বেশী হওয়ায় এই কাল্পনিক ঈথারের স্থিতিস্থাপকতা খুব বেশী এবং ঘনত্ব খুব কম ধরা হয়। আলোর এই তরঙ্গ-তত্ত্ব দ্বারা, আলোকের প্রতিফলন, প্রতিসরণ, ব্যতিচার (interference), ব্যাবর্তন (diffraction) প্রভৃতির সন্তোষজনকভাবে ব্যাখ্যা দেওয়া গেলেও আলোর সমবর্তনের (polarisation) ব্যাখ্যার জন্য ফ্রেনেল (Fresnel) আলোকতরঙ্গকে তির্যক তরঙ্গ ধরিয়াছিলেন। আলোকের ব্যাবর্তন-জনিত ঘটনা দ্বারা প্রমাণিত হয় যে আলোর বিস্তার ঠিক সরলরেখায় হয় না।

আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য খুব ছোট বলিয়াই আমাদের কাছে আলোর বিস্তাররেখা সরলরেখা বলিয়া মনে হয়। আলোক সংক্রান্ত বিভিন্ন ঘটনাগুলি হইতে এই ধারণাই হয় যে আলোক একটি তরঙ্গজনিত ঘটনা।

3-11. আলোক নির্দিষ্ট বেগে চলে (Light travels with a finite velocity) ঃ ডেনমার্কের জ্যোতির্বিদ রোমার (Olaf Romer), পৃথিবী হইতে বৃহস্পতির নিকটতম উপগ্রহের গ্রহণ দূরবীণের সাহায্যে নিরীক্ষণ করিয়া, প্রথমে (1676 খ্রীষ্টাব্দে) আলোর বেগ (V) নির্ণয় করিয়াছিলেন। উপগ্রহটি যদি বৃহস্পতিকে একবার প্রদক্ষিণ করিতে θ সময় লয় তাহা হইলে উহা θ সময় পরপর বৃহস্পতির ছায়ার মধ্যে প্রবেশ করিবে এবং তখন উহার গ্রহণ আরম্ভ হইবে। সূর্যকে একবার প্রদক্ষিণ করিতে পৃথিবীর লাগে এক বৎসর কিন্তু বৃহস্পতির লাগে 11·86 বৎসর। কাজেই পৃথিবীর কৌণিক বেগ, বৃহস্পতির কৌণিক বেগ অপেক্ষা প্রায় 12 গুণ বেশী।



চিত্র 3.5 ঃ আলোর বেগ

মনে কর পৃথিবী (E_1) যখন বৃহস্পতির নিকটতম স্থানে (J_1) ছিল (3.5নং চিত্র) তখন যদি উপগ্রহের প্রথম গ্রহণ t সময়ে আরম্ভ হয় তাহা হইলে পৃথিবী হইতে ঐ গ্রহণ দেখার সময় হইবে $t_1 = t + \frac{E_1J_1}{V}$। পৃথিবী যখন E'_1 স্থানে গেল (বৃহস্পতি তখন প্রায় J_1 স্থানেই থাকিল, কারণ উহার কৌণিক বেগ খুব কম) তখন উপগ্রহের দ্বিতীয় গ্রহণ আরম্ভ হইবার সময় হইবে $(t+\theta)$ কিন্তু পৃথিবী হইতে ঐ গ্রহণ দেখার সময় হইবে $t_2 = t + \theta + \frac{E'_1J_1}{V}$[$\because E'_1J_1 > E_1J_1$ কাজেই $(t_2 - t_1) > \theta$]। পৃথিবী (E_2) যখন বৃহস্পতির (J_2) দূরতম স্থানে গেল তখন যদি উপগ্রহের $(n+1)$ তম গ্রহণ আরম্ভ হয় তাহা হইলে ঐ গ্রহণ আরম্ভ হইবার সময় হইবে $(t+n\theta)$ কিন্তু পৃথিবী হইতে ঐ গ্রহণ দেখার সময় হইবে $t_{n+1} = t + n\theta + \frac{E_2J_2}{V}$। কাজেই উগ্রপহের প্রথম গ্রহণ ও $(n+1)$ তম গ্রহণ দেখার (পৃথিবী হইতে) মধ্যে সময়ান্তর হইবে,

$$T_1 = t_{n+1} - t_1 = \left(t + n\theta + \frac{E_2J_2}{V}\right) - \left(t + \frac{E_1J_1}{V}\right) = n\theta + \frac{D}{V} \quad \cdots (3\text{-}11a)$$

[এখানে $D = E_2J_2 - E_1J_1 =$ পৃথিবীর কক্ষের ব্যাস]

আবার পৃথিবী এবং বৃহস্পতির মধ্যের দূরত্ব (E_2J_2) যখন দীর্ঘতম ছিল তখন উপগ্রহের যে গ্রহণ হইবে তাহাকে যদি প্রথম গ্রহণ ধরা হয়, তাহা হইলে এই প্রথম গ্রহণ আরম্ভ হওয়ার প্রকৃত সময় t' হইলে পৃথিবী হইতে ঐ গ্রহণ দেখার সময় হইবে $t_1' = t' + \frac{E_2J_2}{V}$। পৃথিবী যখন পুনরায় বৃহস্পতির নিকটতম স্থানে পোঁছিল (অর্থাৎ E_3J_3 দূরত্ব যখন ন্যূনতম) তখন উপগ্রহের যে গ্রহণ হইবে তাহা $(n+1)$-তম হইবে (কারণ পৃথিবী ও বৃহস্পতির কৌণিক বেগ অপরিবর্তিত আছে)। কাজেই এই $(n+1)$-তম গ্রহণ হওয়ার প্রকৃত সময় হইবে $(t'+n\theta)$ কিন্তু পৃথিবী হইতে ঐ গ্রহণ দেখার সময় হইবে $t'_{n+1} = \left(t' + n\theta + \frac{E_3J_3}{V}\right)$। কাজেই যে সময়ে পৃথিবী E_2 হইতে E_3-তে যায় এবং বৃহস্পতি J_2 হইতে J_3-তে যায় সেই সময়ে উপগ্রহের প্রথম গ্রহণ ও $(n+1)$-তম গ্রহণের মধ্যের সময়ান্তর হইবে,

$$T_2 = t'_{n+1} - t'_1 = \left(t' + n\theta + \frac{E_3J_3}{V}\right) - \left(t' + \frac{E_2J_2}{V}\right) = n\theta - \frac{D}{V} \quad \cdots(3\text{-}11b)$$

[এখানে, $D = E_2J_2 - E_3J_3$ = পৃথিবীর কক্ষের ব্যাস]

(3.11a) ও (3.11b) সমীকরণদ্বয় হইতে পাওয়া যায় $T_1 - T_2 = \frac{2D}{V}$; অথবা, $V = \frac{2D}{T_1 - T_2}$। রোমার পরীক্ষা দ্বারা $(T_1 - T_2)$-এর মান 33·2 মিনিট = 33·2 × 60 সেকেণ্ড পাইয়াছিলেন। পৃথিবীর কক্ষের ব্যাস = $D = 191 \times 10^6$ মাইল। কাজেই $V = \frac{2 \times 191 \times 10^6}{33{\cdot}2 \times 60} = 191700$ মাইল প্রতি সেকেণ্ডে। পরে আলোকের গতি আরও নির্ভুলভাবে নির্ণয় করিয়া দেখা গেল যে ঐ বেগ $V = 186000$ মাইল প্রতি সেকেণ্ডে; অথবা 3×10^{10} সে.মি. প্রতি সেকেণ্ডে।

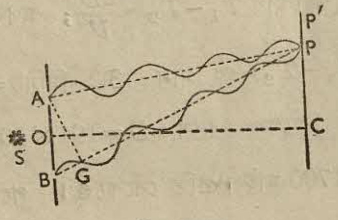
সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলো আসিবার সময় : আলো যখন নির্দিষ্ট বেগে চলে তখন সূর্য হইতে পৃথিবীতে আলো আসিতে নিশ্চয়ই কিছু সময় লাগিবে। সূর্য পৃথিবী হইতে 93×10^6 মাইল দূরে আছে, কাজেই সূর্যের আলো পৃথিবীতে পোঁছাইতে সময় লইবে $t = \frac{93 \times 10^6}{186000} = 8$ মিনিট 20 সেকেণ্ড। কাজেই সূর্য কোন কারণে নষ্ট হইয়া গেলেও উহার নষ্ট হইয়া যাইবার পরও উহাকে 8 মিনিট 20সেকেণ্ড পর্যন্ত দেখা যাইবে।

আলোক-বৎসর : গ্রহ-নক্ষত্রের দূরত্ব মাপিবার জন্য দৈর্ঘ্যের যে বড় একক লওয়া হয় তাহাকে আলোক-বৎসর বলে। এক বৎসরে আলো যতদূর যায় সেই দূরত্বকেই আলোক-বৎসর বলে। সুতরাং আলোক-বৎসর হইবে,

$d = 186000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365\frac{1}{4}$ মাইল।

3-12. আলোকের ব্যতিচার (**Interference of Light**) ঃ দুইটি তরঙ্গের ব্যতিচার এবং উহাদের মধ্যে স্থায়ী ব্যতিচার হওয়ার শর্তগুলি যথাক্রমে 2-20(*a*) ও 2-20(*b*) পরিচ্ছেদে আলোচনা করা হইয়াছে। আলোক যখন একটি তরঙ্গজনিত ঘটনা তখন আলোকের ক্ষেত্রেও ব্যতিচার সংক্রান্ত ঘটনা দেখা যাইবে। স্থায়ীভাবে সমদশায় থাকা আলোকের দুই উৎস হইতে যখন দুই তরঙ্গশ্রেণী উৎপন্ন হইয়া একই দিকে অগ্রসর হইয়া একটি কণার উপর আপতিত হয় তখন ঐ দুই তরঙ্গের ব্যতিচারের ফলে কণার স্থানে আলোর দীপ্তি বেশী কিংবা কম হইবে। কণার স্থানে আলোর দীপ্তি বেশী কিংবা কম হইবে যখন উৎস দুইটি হইতে কণার দূরত্বের পার্থক্য যথাক্রমে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেকের যুগ্ম কিংবা অযুগ্ম গুণিতক হইবে [2-20(*b*)-এর (*iv*) নং শর্ত দেখ]।

ব্যতিচার দেখাইবার পরীক্ষা ঃ ডঃ ইয়ং (Dr. Young) আলোর ব্যতিচার দেখাইবার জন্য একটি পর্দার (*AOB*) উপর দুইটি সূক্ষ্ম ছিদ্র (*A* ও *B*) খুব কাছাকাছি করিয়া ঐ পর্দার পিছনে একটি একক রঙের আলোর উৎস (*S*) রাখিয়াছিলেন [3·6 নং চিত্র]। ছিদ্র দুইটি হইতে যে দুই তরঙ্গশ্রেণী নির্গত হইল তাহারা একই উৎস (*S*) হইতে উৎপন্ন হওয়ায় উহারা উহাদের উৎপত্তিস্থলে (অর্থাৎ *A* ও *B* স্থানে) সর্বদা সমদশায় থাকিবে। *A* ও *B* হইতে দুই তরঙ্গশ্রেণী সমদশায় উৎপন্ন হইয়া একই দিকে অগ্রসর হইয়া *P'C* পর্দার *P* বিন্দুতে মিলিত হইল। *P* বিন্দুতে আলোর দীপ্তি বেশী কিংবা কম হইবে যখন ($BP-AP$) $=BG$ যথাক্রমে $2n(\lambda/2)$ কিংবা $(2n+1)\lambda/2$-এর সমান হইবে। 3.6 নং চিত্রে $(BP-AP)=BG=(2n+1)\lambda/2$, কাজেই দুই তরঙ্গ *P* স্থানে বিপরীত দশায় মিলিত হইয়াছে। অর্থাৎ একটির তরঙ্গশীর্ষ এবং অপরটির তরঙ্গপাদ মিলিত হইয়াছে, এজন্য *P* স্থানে আলোর দীপ্তি কম হইবে। পর্দার *C* বিন্দু, *A* ও *B* হইতে সমদূরে থাকায় ঐ বিন্দুতে আলোর দীপ্তি বেশী হইবে। এই উজ্জ্বল বিন্দুকে **'সেন্ট্রাল ফ্রিঞ্জ'** বলে।



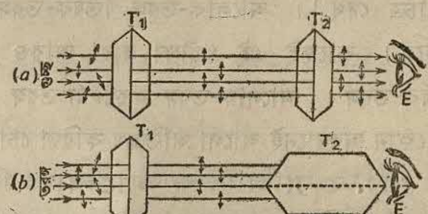
চিত্র 3.6 ঃ
আলোকের ব্যতিচার দেখাইবার পরীক্ষা

যদি $OC=D$ এবং $AB=d$ হয় তাহা হইলে দেখান যাইতে পারে যে *P* বিন্দুতে *n*-তম অন্ধকার ফ্রিঞ্জ গঠিত হইলে *C* হইতে উহার দূরত্ব $CP=\frac{D}{d}(2n+1)\lambda/2$।

আর যদি *P* স্থানে *n*-তম উজ্জ্বল ফ্রিঞ্জ গঠিত হয় তাহা হইলে $CP=\frac{D}{d}2n(\lambda/2)$।

অতএব দুইটি নিকটতম উজ্জ্বল কিংবা অন্ধকার ফ্রিঞ্জের মধ্যের দূরত্ব* $\beta=\frac{D}{d}\lambda$। পরীক্ষা দ্বারা β, D ও d নির্ণয় করা যায়, কাজেই আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যও (λ) ব্যতিচার পরীক্ষা দ্বারা নির্ণয় করা যায়। দেখা গিয়াছে যে পীতবর্ণের আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $=\lambda=5893\times10^{-8}$ সে.মি.।

3-13. আলোকের সমবর্তন (Polarisation of Light) ঃ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হইয়াছে যে আলোক-তরঙ্গ তির্যক তরঙ্গ। অর্থাৎ আলোক-তরঙ্গ মাধ্যমের যে দিকে অগ্রসর হয় তাহার সমকোণের দিকে মাধ্যম-কণার কম্পন হয়। যখন অনেকগুলি আলোক-তরঙ্গ একসঙ্গে একই দিকে অগ্রসর হয় তখন বিভিন্ন তরঙ্গের ক্ষেত্রে, মাধ্যম-কণার কম্পনরেখা তরঙ্গের অভিমুখের সমকোণে থাকিলেও ঐ কম্পন-রেখাগুলি পরস্পর সমান্তরাল থাকে না (অর্থাৎ তরঙ্গগুচ্ছ অসমবর্তিত থাকে [2.22(a)নং চিত্র দেখ])। যদি কোন



চিত্র 3.7 ঃ আলোর সমবর্তন

উপায়ে, তরঙ্গগুচ্ছের সবগুলি তরঙ্গের কম্পনরেখা পরস্পর সমান্তরালে আনা যায় তাহা হইলে সেই তরঙ্গ-গুচ্ছকে সমবর্তিত তরঙ্গগুচ্ছ বলে [2.22(b) নং চিত্র দেখ]। সমবর্তন সম্বন্ধে আলোচনা 2-23 পরিচ্ছেদে বিশেষভাবে করা হইয়াছে। আলোকের তির্যক তরঙ্গ-গুচ্ছকে কিভাবে সমবর্তিত করা যায় তাহা নিম্নের পরীক্ষা দ্বারা বোঝা যাইবে।

টুরম্যালিন কেলাসের (tourmaline crystal) গঠন-প্রকৃতি এইরূপ যে, যখন উহার মধ্য দিয়া আলোকের তির্যক-তরঙ্গ অতিক্রম করে তখন প্রত্যেক তরঙ্গ-বিস্তারের সেই সব উপাংশই অতিক্রম করিতে পারিবে যাহারা টুরম্যালিনের আলোক-অক্ষের (optic axis) সমান্তরাল হইবে। কাজেই যদি কোন অসমবর্তিত তরঙ্গগুচ্ছ টুরম্যালিনের (T_1) তলের সমকোণে আপতিত হয় তাহা হইলে উহা হইতে অতিক্রান্ত সবগুলি তরঙ্গের কম্পনরেখা টুরম্যালিনের

* যদি P' বিন্দুতে ($n+1$)-তম অন্ধকার কিংবা উজ্জ্বল ফ্রিঞ্জ গঠিত হয় তাহা হইলে $CP'=\frac{D}{d}(2n+2+1)\lambda/2$ (অন্ধকার ফ্রিঞ্জের ক্ষেত্রে) এবং $CP'=\frac{D}{d}(2n+2)\lambda/2$ (উজ্জ্বল ফ্রিঞ্জের ক্ষেত্রে)। কাজেই $\beta=CP'-CP=\frac{D}{d}\lambda$ (উভয় ক্ষেত্রেই)।

আলোক-অক্ষের সমান্তরাল হইবে [3·7 নং চিত্র দেখ]। কাজেই প্রথম টুরম্যালিন (T_1) হইতে অতিক্রান্ত আলোকতরঙ্গগুলি **সমবর্তিত** হইবে। এক্ষণে এই সমবর্তিত আলোক-তরঙ্গগুলি যদি দ্বিতীয় একটি টুরম্যালিনের (T_2) উপর লম্বভাবে ফেলা হয় তাহা হইলে এই সমবর্তিত তরঙ্গগুলি দ্বিতীয় টুরম্যালিন হইতে নির্গত হইবে যদি উহার আলোক-অক্ষ প্রথম টুরম্যালিনের (T_1) আলোক-অক্ষের সমান্তরালে থাকে [3.7 (a) চিত্র দেখ]। আর যদি দ্বিতীয় টুরম্যালিনের (T_2) আলোক-অক্ষ প্রথম টুরম্যালিনের (T_1) আলোক-অক্ষের সমকোণে থাকে তাহা হইলে T_1 হইতে নির্গত সমবর্তিত আলোক-তরঙ্গ T_2 কেলাসের মধ্য দিয়া যাইতে পারিবে না। ফলে T_2-এর পরে চোখ (E) রাখিলে ঐ চোখে কোন আলো যাইবে না [3·7(b) নং চিত্র দেখ]। আলোক-তরঙ্গ তির্যক-তরঙ্গ হইলেই কেবল এইরূপ ঘটনা দেখা যাইবে। কাজেই এই পরীক্ষা দ্বারা আরও প্রমাণিত হইল যে আলোক-তরঙ্গ তির্যক-তরঙ্গ। আলোক-তরঙ্গ অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গ হইলে দ্বিতীয় টুরম্যালিন কেলাসের যে-কোন অবস্থানেই আলো অতিক্রম করিয়া চোখে (E) পৌঁছাইতে পারিত।

3-14. জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞান মোটামুটিভাবে কার্যকরী (Validity of geometrical optics as an approximation) ঃ 'আলো সরলরেখায় চলে', এই তথ্যকে ভিত্তি করিয়াই আলোক বিজ্ঞানের অনেক ঘটনা জ্যামিতিকভাবে ব্যাখ্যা করা হইয়াছে। যে তথ্য জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানের ভিত্তি তাহা যদি মোটামুটি সত্য হয় তাহা হইলে জ্যামিতিক আলোক বিজ্ঞানও মোটামুটি সত্য হইবে।

আলোক যখন একটি তরঙ্গজনিত ঘটনা তখন তরঙ্গের ধর্ম আলোর মধ্যে পাওয়া যাইবে। তরঙ্গের একটি ধর্ম হইতেছে এই যে, তরঙ্গ পথে কোন বাধা রাখিলে তরঙ্গ ঐ বাধার ধারে বাঁকিয়া যায় যাহাকে তরঙ্গের **ব্যাবর্তন** (diffraction) বলে। আলোক যখন তরঙ্গাকারে চলে তখন আলোক তরঙ্গেরও কোন বাধার ধারে বাঁকিয়া যাওয়া উচিত। প্রকৃতপক্ষে কোন কোন সূক্ষ্ম পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে আলো যখন কোন ধারালো পাতের ধার অতিক্রম করে তখন ঐ ধারের কাছে আলোকতরঙ্গ সামান্য বাঁকিয়া যায়। ধারালো পাতের ধারে আলোর ঋজুপথ হইতে এই বিচ্যুতি লাল আলোর ক্ষেত্রে (যাহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য বেশী) বেশী এবং নীল আলোর ক্ষেত্রে (যাহার তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম) কম। ধারালো পাতের ধারে আলোর ঋজুপথ হইতে বিচ্যুতি এবং আলোর ঋজুগতি তত্ত্ব পরস্পর-বিরোধী ঘটনা। কিন্তু আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এত কম (প্রায় 10^{-5} সে. মি.) যে আলোর ঋজুপথ হইতে বিচ্যুতি সূক্ষ্ম যন্ত্র ছাড়া খালি চোখে ধরা পড়ে না। এজন্য বলা হয় যে আলো ঋজুপথে চলে এবং এই ঘটনা, আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কম হওয়ায় মোটামুটিভাবে সত্য কাজেই জ্যামিতিক আলোক

মি.মি. হইলেও বায়ুতে শব্দের বেগ এই কারণে কোনরূপ পরিবর্তন হইবে না। কিন্তু শব্দের বেগ 50°C-এ V_{50} হইলে আমরা লিখিতে পারি

$$\frac{V_{50}}{V_0}=\sqrt{\frac{273+50}{273}}\ ; \text{ অথবা, } V_{50}=332\sqrt{\frac{323}{273}}=361{\cdot}1 \text{ মিটার/সেকেণ্ড।}$$

2. নির্দিষ্ট দূরত্বের কোন দূরের দুর্গ হইতে নির্দিষ্ট সময়ে বন্দুক ছোঁড়ার শব্দ শুনিয়া একজন লোক তাহার ঘড়ি ঠিক করিয়া দেখিল যে ঘড়ি 2 সেকেণ্ড স্লো গিয়াছে। ইহা কেন হইল? লোকটি হইতে দুর্গের দূরত্ব নির্ণয় কর যখন বাতাসের উষ্ণতা 15°C এবং O°C উষ্ণতায় শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে।

উঃ। দুর্গ হইতে লোকটির কাছে শব্দ পেঁাছাইতে 2 সেকেণ্ড সময় লইয়াছে। এই সময় ধরিয়া না লইয়া, দুর্গের বন্দুক ছোঁড়ার-সময় ঘড়িতে রাখিলে ঘড়ি 2 সেকেণ্ড স্লো দেখাইবে। 15°C উষ্ণতার বায়ুর মধ্যে যদি শব্দের বেগ V_{15} হয় তাহা হইলে

$$V_{15}=332\sqrt{\frac{288}{273}}=341 \text{ মিটার প্রতি সেকেণ্ডে।}$$ কাজেই লোকটির অবস্থান হইতে দুর্গের দূরত্ব $s=V_{15}\times2=341\times2=682$ মিটার।

3. এক কিলোমিটার দৈর্ঘ্যের নলের এক প্রান্তে শব্দ করিলে, নলের অপর প্রান্তে দুইটি শব্দ শুনিতে পাওয়া যাইবে যাহাদের মধ্যের সময়ান্তর 2·8 সেকেণ্ড। পরীক্ষাকালে বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ 340 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে হইলে নলের পদার্থের মধ্যে শব্দের বেগ কত হইবে?

উঃ। বাতাসের মধ্যে শব্দের যাইতে সময় লাগিবে $t_1=\frac{1000}{340}=$ প্রায় 3 সেকেণ্ড। নলের পদার্থের মধ্যে শব্দের যাইতে সময় লাগিবে $t_2=\frac{1000}{V}$ সেকেণ্ড। যেহেতু নলের পদার্থের মধ্যে শব্দের বেগ V অনেক বেশী সেজন্য $t_1>t_2$। অতএব $t_1-t_2=2{\cdot}8$; অথবা $3-\frac{1000}{V}=2{\cdot}8$; অথবা, $V=5000$ মিটার প্রতি-সেকেণ্ডে।

অনুশীলনী (Exeircise) [অধ্যায় 3]

1. বৃষ্টির সময়, দুইটি মেঘের মধ্যে তড়িৎ-ক্ষরণের আলো দেখার ও শব্দ শুনার মধ্যে সময়ান্তর 3 সেকেণ্ড। ঐ সময়ে বায়ুর উষ্ণতা 10°C থাকিলে ভূ-পৃষ্ঠ হইতে মেঘের দূরত্ব কত ছিল? O°C উষ্ণতায় বায়ুতে শব্দের বেগ 1090 ফুট প্রতি সেকেণ্ডে। [**Ans.** 1110 গজ]

2. উন্মুক্ত বাতাসের মধ্যে দুইজন পর্যবেক্ষক A ও B-এর মধ্যের দূরত্ব এক মাইল। A হইতে B-এর দিকে বায়ু বহিতেছে। A হইতে শব্দ সৃষ্টির 4 সেকেণ্ড পর B শব্দ শুনিল এবং B হইতে শব্দ সৃষ্টির 5 সেকেণ্ড পর A শব্দ শুনিল। শব্দের বেগ কত হইবে? [**Ans.** 1188 ফুট/সেকেণ্ড]

3. 78·4 গভীরতার একটি কূপের মধ্যে একটি পাথর ফেলার 4·23 সেকেণ্ড পর পাথরটির জলস্পর্শ করার শব্দ শুনা গেল। কূপের মধ্যস্থ বাতাসে শব্দের বেগ কত হইবে? $g=980$ সে. মি./সেকেণ্ড²।
[**Ans.** প্রায় 341 মিটার প্রতি সেকেণ্ড]

4. হাইড্রোজেন গ্যাস এবং বাতাসের ঘনত্ব যথাক্রমে ·089 গ্রাম/লিটার এবং 1·293 গ্রাম/লিটার হইলে, হাইড্রোজেন গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ কত হইবে যখন বাতাসের মধ্যে শব্দের বেগ 332 মিটার/সেকেণ্ড? [**Ans.** 1266 মিটার/সেকেণ্ড]

5. বাতাসের উষ্ণতা কত করিলে তাহার মধ্যে শব্দের বেগ, $0°C$ উষ্ণতার বাতাসের মধ্যের বেগের দ্বিগুণ হইবে? [**Ans.** 819°C]

6. কোনও দিনে ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা 76 সে.মি. এবং বাতাসের ঘনত্ব ·001165 গ্রাম/সি. সি. হইলে বায়ুর উষ্ণতা কত °C হইবে? [**Ans.** 30·58°C]

7. কোন দিনে বাতাসের মধ্যে নির্ণীত বেগ 340 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে। বাতাসের ঘনত্ব 1·22 গ্রাম/লিটার হইলে ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা কত হইবে? $\gamma=1·41$। [**Ans.** 75·08 সে.মি.]

8. স্বাভাবিক উষ্ণতায় ও চাপে বায়ুর ঘনত্ব 1·293 গ্রাম প্রতি লিটার হইলে এবং উহাতে শব্দের বেগ 332·5 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে হইলে γ-এর মান কত হইবে? [**Ans.** $\gamma=1·41$]

9. বায়ু স্বাভাবিক চাপে ও উষ্ণতায় থাকিলে উহার মধ্যে শব্দের বেগ 332 মিটার প্রতি সেকেণ্ডে হয়। এমন একটি গ্যাসের মধ্যে শব্দের বেগ নির্ণয় কর যাহার ঘনত্ব বায়ুর ঘনত্বের অর্ধেক।
[**Ans.** 469·45 মিটার/সেকেণ্ড]

10. ইয়ং-এর পরীক্ষায় আলোর দুইটি উৎসের মধ্যের দূরত্ব ·05 সে.মি. ছিল। 100 সে.মি. দূরে রক্ষিত কোন পর্দার উপর পর্যায়ক্রমে যে আলোকিত ও অন্ধকার রেখা গঠিত হইল তাহাতে 1 সে. মি.-এর মধ্যে 10টি আলোকিত রেখা পাওয়া গেল। আলোর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য কত হইবে?

সংকেত : [$\lambda=\frac{d}{D}\beta$; এখানে $d=·05$ সে. মি.; $\beta=\frac{1}{10}=·1$ cm.; $D=100$ সে. মি.

কাজেই $\lambda=\frac{·05\times·1}{100}=5\times10^{-5}$ সে. মি.।]